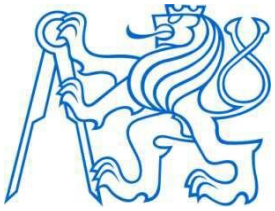


ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA DOPRAVNÍ

Bc. Jan Pilecký

Systém kontroly stability vozidla

Diplomová práce

2016

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
Fakulta dopravní
d ě k a n
Konviktská 20, 110 00 Praha 1

K616.....**Ústav dopravních prostředků**

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

Bc. Jan Pilecký

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

N 3710 – DS – Dopravní systémy a technika

Název tématu (česky): **Systém kontroly stability vozidla**

Název tématu (anglicky): Vehicle stability control system

Zásady pro vypracování

Při zpracování diplomové práce se řiďte osnovou uvedenou v následujících bodech:

- uveďte celkovou statistiku dopravních nehod a nehod způsobených nákladními vozidly
- uveďte teorii dynamiky vozidla s ohledem na mobilní těžiště
- navrhněte systém měření fyzikálních veličin pro zjištění stability soustavy s mobilním těžištěm
- navrhněte systém kontroly stability vozidla

Rozsah grafických prací: dle pokynů vedoucího práce

Rozsah průvodní zprávy: minimálně 55 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)

Seznam odborné literatury: FIRST, Jiří a kol. Zkoušení automobilů a motocyklů: příručka pro konstruktéry. Vyd. 1. Praha: S&T CZ, 2008. 348 s. ISBN 978-80-254-1805-5.

VLK, František. Dynamika motorových vozidel. 2. vyd. Brno: František Vlk, 2003. 432 s. ISBN 80-239-0024-2

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Jiří First**

Datum zadání diplomové práce: **1. června 2015**
(datum prvního zadání této práce, které musí být nejpozději 10 měsíců před datem prvního předpokládaného odevzdání této práce vyplývajícího ze standardní doby studia)

Datum odevzdání diplomové práce: **1. června 2016**
a) datum prvního předpokládaného odevzdání práce vyplývající ze standardní doby studia a z doporučeného časového plánu studia
b) v případě odkladu odevzdání práce následující datum odevzdání práce vyplývající z doporučeného časového plánu studia

L. S.

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE Fakulta dopravní

doc. Ing. Petr Bouchner, Ph.D.
vedoucí
Ústavu dopravních prostředků

prof. Dr. Ing. Miroslav Svítek, dr. h. c.
děkan fakulty

Potvrzuji převzetí zadání diplomové práce.

Bc. Jan Pilecký
jméno a podpis studenta

V Praze dne 1. června 2015

PODĚKOVÁNÍ

Touto cestou bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce Ing. Jiřímu Firstovi za cenné rady, odborné vedení, ochotu a čas, kterými přispěli k vypracování této práce. Velký dík patří i rodičům, kteří mě podporovali během celého studia.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na ČVUT v Praze Fakultě dopravní.

Nemám závažný důvod proti užívání tohoto školního díla ve smyslu §60 Zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne 30.5.2016 .....

podpis

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
Fakulta dopravní

Systém kontroly stability vozidla

diplomová práce
květen 2016
Bc. Jan Pilecký

ABSTRAKT

Hlavním cílem této diplomové práce je návrh informačního systému stability vozidla. V průběhu nakládání a jízdy automobilu je nepřetržitě sledováno jeho zatížení, náklon a poloha těžiště. V případě výskytu situace, která by mohla mít dopad na jízdní vlastnosti vozidla, je o této skutečnosti informován řidič akustickým signálem či prostřednictvím displeje. V první polovině práce je uvedena statistika dopravních nehod, základní přehled legislativy, teorie dynamiky vozidla a řiditelnosti. Druhá část se zabývá již návrhem samotného systému.

KLÍČOVÁ SLOVA

Stabilita vozidla

Informační systém

Dynamika vozidla

CZECH TECHNICAL UNIVERSITY IN PRAGUE

Faculty of Transportation Sciences

Vehicle stability control system

diploma thesis

may 2016

Bc. Jan Pilecký

ABSTRACT

The main object of this thesis is to design an information system of vehicle stability. The car is continuously monitored during loading and driving of the load, tilt and center of gravity. In case of a situation that could have an impact on driving behavior, driver is informed with an acoustic signal or via the display. The first half of the work presented statistics on traffic accidents, basic overview of legislation, the theory of vehicle dynamics and controllability. The second part deals with the design of actual system itself.

KEY WORDS

Vehicle stability

Information system

Vehicle dynamics

Obsah

1 Úvod 8

2 Statistika dopravních nehod 10

2.1 Celková statistika dopravních nehod v ČR 11

2.2 Statistika nehod nákladních vozidel v ČR 13

2.3 Statika nehod nákladních vozidel v Evropě 14

2.4 Statistika nehod nákladních vozidel v USA 15

3 Legislativa 17

3.1 Národní legislativa 17

3.2 Mezinárodní legislativa 19

4 Teorie dynamiky vozidla 20

4.1 Trojrozměrná referenční soustava 20

4.2 Prostorový model dynamiky vozidla 22

4.3 Vlastní kmitání vozidla 24

5 Řiditelnost a stabilita vozidla 26

5.1 Stabilita vozidla 26

5.1.1 Činitelé mající vliv na stabilitu vozidla 27

5.2 Řiditelnost vozidla 28

5.2.1 Statická řiditelnost 28

5.2.2 Dynamická řiditelnost 30

5.3 Naklápění vozidla 30

6 Systém kontroly stability 31

7 Měřené veličiny 32

7.1 Měřící technika 32

7.1.1 Měření zrychlení 33

7.1.2 Měření síly 34

7.1.3 Měření úhlu náklonu 35

7.1.4 Měření času ... 35
7.2 Umístění měřících přístrojů ... 36
8 Návrh informačního systému ... 37
8.1 Přehled podávaných informací ... 37
8.2 Algoritmus systému kontroly stability ... 38
8.3 Statická část algoritmu ... 39
8.3.1 Statická část algoritmu, 1. část ... 40
8.3.2 Statická část algoritmu, 2. část ... 44
8.4 Dynamická část algoritmu ... 48
9 Závěr ... 51
10 Použité zdroje ... 52
11 Seznam obrázků ... 54
12 Seznam tabulek ... 56
13 Seznam příloh ... 57

1 Úvod

Od doby vzniku prvního silničního automobilu se spalovacím motorem urazil vývoj automobilové dopravy dlouhou cestu. Ta pokračuje i nadále, a dokud bude existovat silniční doprava taková, jak jí známe dnes, bude nutné klást neustálý důraz na její rozvoj. Doprava se stala jedním z hlavních motorů hospodářského růstu a je jisté, že v blízké budoucnosti budou její intenzity nadále růst. Tím dochází ke stále vyššímu namáhání tří pilířů soustavy dopravního systému, a sice vozidla, infrastruktury a lidského faktoru. Právě poslední jmenovaný, řídící a regulační prvek, je nejslabší a jednoznačně nejnáchylnější k chybám. Jeho chování je individuální, závislé na mnoha vlivech a není možné ho s jistotou předvídat. Schopnost řidiče automobilu adekvátně reagovat na nastalou situaci je ovlivněna mnoha faktory, jedná se např. o zdravotní a duševní stav, únavu, věk (reakční doba a zkušenosti řidiče), vliv alkoholu a jiných omamných látek či vystavení hluku a vibracím.

Snahou výrobců je tyto negativní vlivy, působící na člověka v maximální možné míře eliminovat. Díky vývoji jsou dnes při výrobě automobilů běžně používány technologie a materiály, umožňující neustálé snižování jejich hmotnosti, efektivní rozdělení zatížení na jednotlivé nápravy a měnící výšku jeho těžiště nad vozovkou. Další výraznou snahou konstruktérů je prostřednictvím prvků aktivní bezpečnosti vytvořit co nejstabilnější systém řízení.

Právě stabilita je vedle řiditelnosti a ovladatelnosti jednou ze základních charakteristik, které jsou sledovány při studiu dynamiky vozidel. Tyto vlastnosti jsou prostřednictvím konstrukce přiřazeny každému vozidlu, ale nejsou konstantní po celou dobu životnosti. V čase jsou ovlivňovány např. opravami či opotřebením. K případné nestabilitě a ztrátě kontroly nad vozidlem tedy může dojít z mnoha různých důvodů. Působící vztahy mezi vozovkou, vozidlem a okolním prostředím lze popsat pomocí matematického modelu. Ty jsou ale ještě ovlivňovány dalšími důležitými faktory, mezi něž patří především řidič (řídící a regulační prvek systému). Všeobecně platí, že jízdní vlastnosti vozidla jsou vnímány subjektivně v závislosti na fyzickém stavu a zkušenostech řidiče.

Cílem této diplomové práce je navrhnout systém detekce stability vozidla na úrovni aktivní bezpečnosti a v případě překročení únosných mezí a hranice vedoucí k následné nestabilitě o této skutečnosti informovat řidiče. K tomu budou sloužit přesně umístěné měřící přístroje, jejichž naměřené hodnoty budou zpracovávány v reálném čase a na jejich základě bude možné určit momentální stav vozidla. Zároveň je možné tímto systémem provádět kontrolu zatížení jednotlivých náprav či kol, zda-li naměřené hodnoty nepřekračují zákonné meze či

nedochází k přetížení vozidla. Tato diplomová práce se nezabývá řešením na úrovni pasivní bezpečnosti ani případy, kdy je převrácení vozidla přímým důsledkem dopravní nehody.

Tato práce vzniká na základech návrhu představeného v patentové přihlášce pod zn. PV 2009 - 332.

V kapitole 2-5 je popsána problematika dynamiky, stability, řiditelnosti vozidla a je zde uvedena statistika dopravních nehod a stručný přehled legislativy, související s touto prací. Kapitoly 6-8 se pak zabývají návrhem samotného systému kontroly stability vozidla.

2 Statistika dopravních nehod

Rozvoj silniční dopravy jako celku zaznamenal po druhé světové válce prudký rozvoj. Ten stále pokračuje a v budoucnu tomu nebude jinak. Tlak vyvíjený na řidiče vozidel a neustálé namáhání dopravní techniky, pramenící ze snahy o co nejnižší přepravní náklady společně s rostoucími intenzitami provozu na pozemních komunikacích znamenají rostoucí riziko vzniku dopravních nehod.

Z tohoto důvodu je nutné usilovat o maximální možné snižování těchto negativních vlivů. Z hlediska dopravní techniky se jedná o prvky aktivní bezpečnosti (zjednodušeně mající za úkol předejít a zabránit dopravním nehodám) a bezpečnosti pasivní (systémy mající za úkol snížení následků dopravních nehod v případě, že jim již není možné předejít). Také silniční síť má na bezpečnost pozemní dopravy velký podíl. Snahou projektantů je navrhnout komunikaci, která je přehledná, srozumitelná a také tzv. odpouštějící. To znamená, že případná chvilková ztráta kontroly nad vozidlem nemusí nutně vést k dopravní nehodě. Důležitou roli hraje také kontrola řidičů vozidel, zda-li před jízdou nepozřeli alkohol či jiné omamné a návykové látky. V případě řidičů nákladních vozidel se pak ještě zaměřit na dodržování povinných bezpečnostních přestávek.

Z hlediska jízdní stability a rizika převrácení se jsou nákladní vozidla nejrizikovější skupinou automobilů. Z tohoto důvodu bude analýza dostupných dat zaměřena převážně na ně.

V následujících bodech jsou uvedeny veřejně přístupné statistiky, týkající se nehodovosti v České republice, Evropě a Severní Americe. Ve statistice týkající se území České republiky je uveden celkový přehled dopravních nehod následovaný statistikami nehod nákladních automobilů v Evropě a USA.

2.1 Celková statistika dopravních nehod v ČR

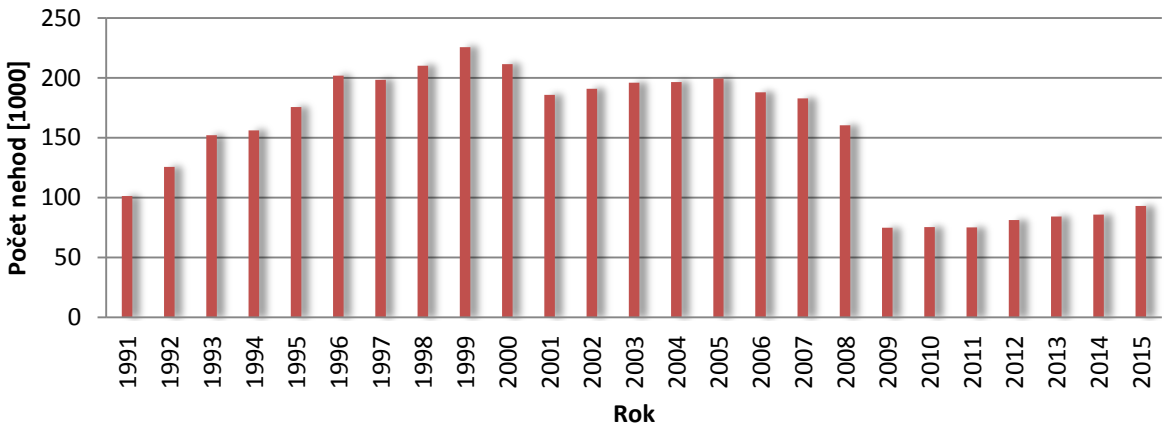
Tabulka 1: Stručná statistika nehod v ČR v letech 1990-2015 [3]

Rok	Počet nehod	Usmrceno	Zraněno těžce	Zraněno lehce
1990	94 664	1 173	4 519	23 371
1991	101 387	1 194	4 833	22 806
1992	125 599	1 395	5 429	26 708
1993	152 157	1 355	5 629	26 821
1994	156 242	1 473	6 232	29 590
1995	175 520	1 384	6 298	30 866
1996	201 697	1 386	6 621	31 296
1997	198 431	1 411	6 632	30 155
1998	210 138	1 204	6 152	29 225
1999	225 690	1 322	6 093	28 747
2000	211 516	1 336	5 525	27 063
2001	185 664	1 219	5 493	28 297
2002	190 718	1 314	5 492	29 013

Rok	Počet nehod	Usmrceno	Zraněno těžce	Zraněno lehce
2003	195 851	1 319	5 253	30 312
2004	196 484	1 215	4 878	29 543
2005	199 262	1 127	4 396	27 974
2006	187 965	956	3 990	24 231
2007	182 736	1 123	3 960	25 382
2008	160 376	992	3 809	24 776
2009	74 815	832	3 536	23 777
2010	75 522	753	2 823	21 610
2011	75 137	707	3 092	22 519
2012	81 404	681	2 986	22 590
2013	84 389	583	2 782	22 577
2014	85 859	629	2 762	23 655
2015	93 067	660	2 540	24 426

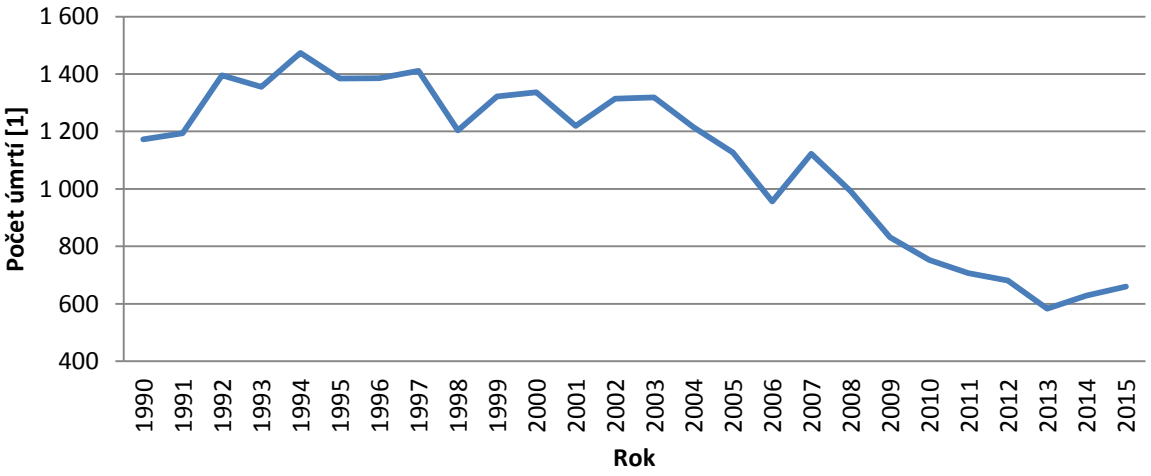
Hlavním zdrojem statistických dat nehod na území České republiky je Policie ČR. Tato data jsou spíše obecná a nelze z nich vyčíst mnoho detailů. Jsou vhodná k znázornění vývoje počtu nehod a jejich následků, příp. příčin jejich vzniku.

Jak je možné vyčíst z Tabulky 1 a Obrázku 1, k nejvíce dopravním nehodám došlo v roce 1999, jednalo se téměř o čtvrt milionu nehod. Od roku 1999 do až do roku 2008 dochází ke klesání. V tomto roce došlo k legislativním změnám upravující povinnost oznamování nehody Policii ČR, čímž došlo k výraznému zkreslení dlouhodobého vývoje těchto statistik. Od této doby je možné vyčíst mírně rostoucí trend vzniku nehod.



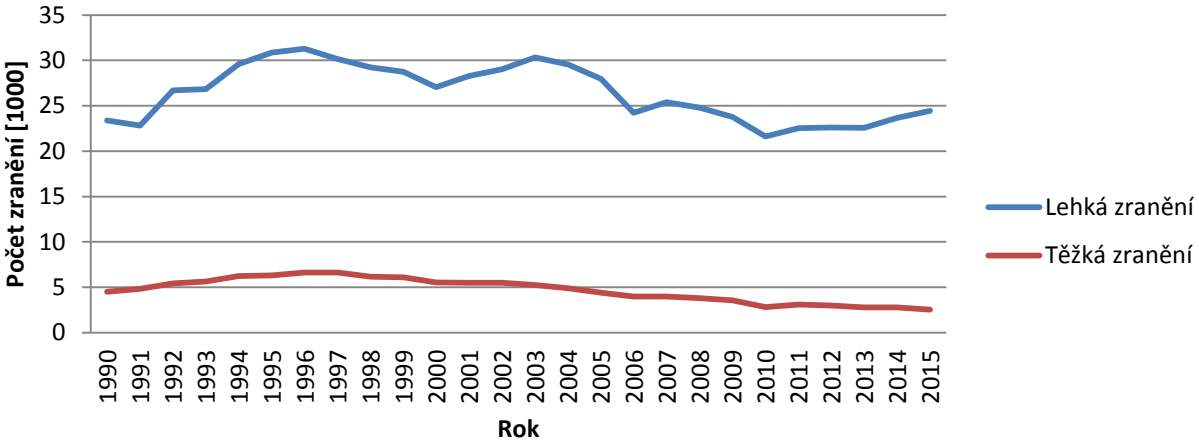
Obrázek 1: Počet nehod v letech 1990-2015 [3]

Zejména díky systémům popsaným v úvodu této kapitoly došlo k poklesu usmrcených osob z důvodu dopravní nehody na méně než polovinu oproti roku 1994. Tento klesající trend je možné vyčíst z Obrázku 2:



Obrázek 2: Počet úmrtí zapříčiněných dopravními nehodami v letech 1990-2015 [3]

Těžká zranění zaznamenávají klesající vývoj, počet lehkých zranění se dá i přes výrazné výkyvy z dlouhodobého hlediska charakterizovat také jako klesající.

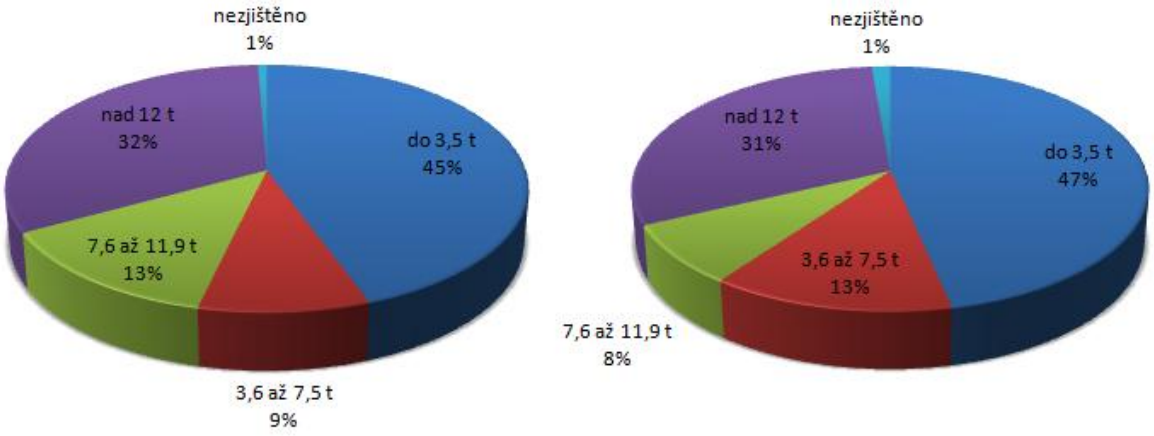


Obrázek 3: Počet lehkých a těžkých zranění zapříčiněných d. nehodami v letech 1990-2015 [3]

2.2 Statistika nehod nákladních vozidel v ČR

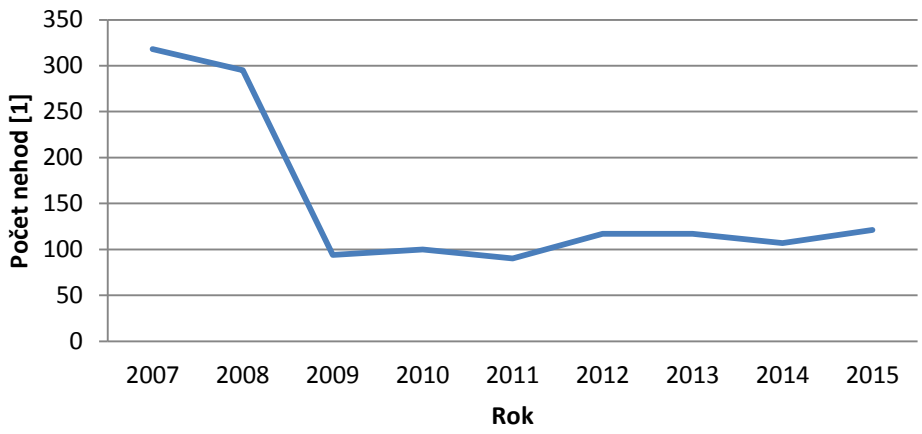
V roce 2015 bylo na území České republiky celkem 10 668 nehod nákladních vozidel, což činí 11,5% podíl v celkovém počtu nehod. Téměř poloviční účast na nich mají vozidla hmotnostní kategorie do 3,5 t (4 741 nehod), následovány vozidly kategorie nad 12 t (3 451 nehod). Procentuální zastoupení nehodovosti jednotlivých kategorií je znázorněno na obrázku 4, vlevo.

Tyto nehody vedly k usmrcení 75 osob. Největší podíl mají vozidla kategorie do 3,5 t (35 usmrcených osob), těsně následovány nákladními vozidly těžšími než 12 t (23 osob). Zastoupení jednotlivých kategorií zobrazeno na Obrázku 4, vpravo.



Obrázek 4: Procentuální zastoupení nehod nákladních vozidel a úmrtí v závislosti na hmotnosti (2015) [3]

Z hlediska stability vozidla je nejdůležitější statistika vzniku nehod z důvodu nesprávného uložení nákladu. Jako vstupní data byly využity Informace o nehodovosti na území České republiky vydávané na konci každého roku, v tomto případě v letech 2007-2015. Stejně jako celkový počet nehod, i tato statistika je zkreslena změnou legislativy na přelomu let 2008 a 2009. Od této doby vykazuje křivka nehod tohoto typu mírně rostoucí trend (viz. Obrázek 5). Tento druh dopravních nehod tvoří jen něco málo přes 1% z celkového počtu, ale z hlediska rozsahu, nebezpečí ostatním účastníkům provozu a vzniku hmotných škod se jedná o závažný problém.



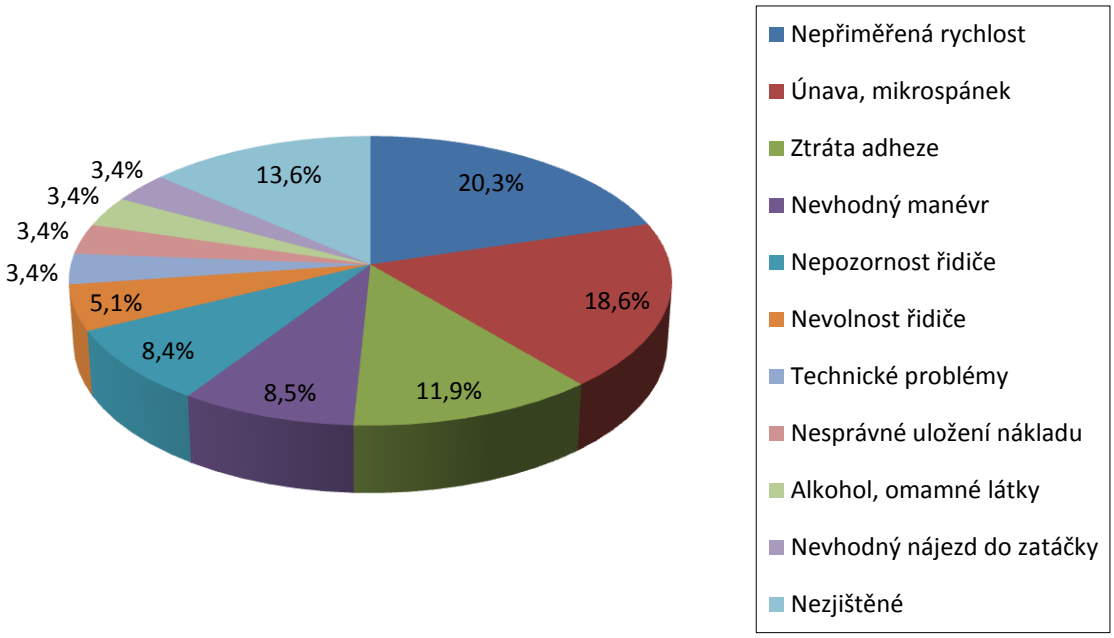
Obrázek 5: Vývoj počtu nehod způsobených uložením nákladu [3]

2.3 Statika nehod nákladních vozidel v Evropě

Jako statistická data pro tento přehled byla zvolena studie ETAC (European Truck Accident Causation), která vznikla v letech 2004-2006 pod záštitou Mezinárodní unie silniční dopravy (IRU). Od jejího vzniku sice uběhlo už téměř 10 let, ale stále se jedná o jednu z nejkvalitnějších statistik specializovaných na nákladní vozidla, ze kterých jde detailně vyčíst příčinu vzniku i následky nehody. Za tuto doby bylo v sedmi evropských zemích (Francie, Itálie, Maďarsko, Německo, Nizozemí, Slovinsko a Španělsko) analyzováno více než 600 nehod dle podrobně specifikované metodiky.

Z dostupných údajů plyne, že k nehodě samotného vozidla došlo pouze v 7,4 % případů. U ostatních figuroval kromě analyzovaného vozidla i jiný kolizní partner. K nejčastějším kolizním situacím došlo na křižovatkách, v kolonách, při změně či vybočení z jízdního pruhu a při předjížděcím manévru (celkem 78,4 % nehod).

Z hlediska navrhovaného systému je důležitý přehled důvodů vzniku dopravních nehod samostatného vozidla. Dle něho má největší podíl nepřiměřená rychlost (20,3 %) následovaná únavou a souvisejícím mikrospánkem (18,6 %). Třetí nejčastější příčinou je ztráta adheze mezi pneumatikami vozidla a povrchem vozovky (11,9 %), nevhodný manévr zejména směrového charakteru byl hlavní příčinou vzniku nehod v 8,5 % případů. Celkový přehled těchto údajů je uvedený na Obrázku 6.



Obrázek 6: Hlavní důvody vzniku nehody nákladního vozidla dle ETAC [5]

Dle této studie je nevhodně uložený náklad hlavní příčinou vzniku dopravní nehody pouze v 3,4 % případů. Z ostatních příčin je ale možné vyvodit, že se na jejich vzniku může podílet i nepřímo, a sice negativním ovlivněním jízdních vlastností vozidla.

2.4 Statistika nehod nákladních vozidel v USA

Jako zdroj statistických dat pro analýzu příčin vzniku nehod na území Spojených států amerických posloužila databáze organizace FMCSA (Federal Motor Carrier Safety Administration) spadající pod U.S. Department of Transportation. Tato databáze se zabývá analýzou dopravních nehod nákladních vozidel či autobusů těžších než 10 tisíc liber (přibližně 4 540 kg) a při kterých došlo k úmrtí alespoň jednoho z účastníků. Vyplívá z ní, v roce 2014 vznikla většina nehod z důvodu kolize s jiným vozidlem (72,8 %), druhou nejčastější příčinou je pak srážka s pevnou překážkou (9,8 %).

Tabulka 2: Hlavní důvody vzniku tragických nehod n. automobilů v USA (2014) [6]

Hlavní důvod nehody	Počet	Procent
Srážka s jiným vozidlem	2 494	**72,8%**
Srážka s pevnou překážkou	335	**9,8%**
Srážka s chodcem	257	**7,5%**
Převrácení	156	**4,6%**
Srážka s cyklistou	70	**2,0%**
Srážka se zaparkovaným vozidlem	41	**1,2%**
Srážka s vlakem	19	**0,6%**
Srážka s jiným objektem	7	**0,2%**
Srážka se zvířetem	7	**0,2%**
Zalomení soupravy	8	**0,2%**
Nesprávné uložení nákladu	10	**0,3%**
Jiný	20	**0,6%**

Nehody způsobené nesprávným uložením nákladu se podílely na celkovém počtu nehod jen z 0,3 %. Opět ale nelze vyloučit, že tento parametr výrazně přispěl ke vzniku nehody, která byla do výsledné statistiky zanesena pod jinou příčinou vzniku (např. převrácení vozidla).

3 Legislativa

Pojem legislativa vystihuje soubor pravidel, kterými jsou provázány vztahy mezi účastníky provozu, dopravními prostředky a dopravní infrastrukturou.

Legislativu, týkající se dopravy, je možné rozdělit do těchto skupin: [2]

- pravidla silničního provozu, kterými je regulováno chování účastníků dopravy v provozu,
- administrativní pravidla, která určuje činnost státní administrativy a povinnost provozovatelů dopravních prostředků (registrace vozidel, vydávání řidičských průkazů atp.),
- technické podmínky, jimiž jsou určována pravidla pro stavbu dopravní infrastruktury a pro její údržbu,
- technická pravidla, která určují podmínky technické způsobilosti dopravních prostředků k provozu.

Z hlediska této práce nás nejvíce zajímá poslední jmenovaná skupina, týkající se silničních motorových vozidel.

3.1 Národní legislativa

- Zákon č. 56/2001 Sb., o podmínkách provozu vozidel na pozemních komunikacích
- Vyhláška č. 302/2001 Sb., o technických prohlídkách a měření emisí vozidel, ve znění pozdějších předpisů,
- Vyhláška č. 341/2002 Sb., o schvalování technické způsobilosti a o technických podmínkách provozu vozidel na pozemních komunikacích, ve znění pozdějších předpisů,
- Normy ČSN: soubor českých technických norem třídy 30 – silniční vozidla.

Vyhláška č. 341/2002 Sb. definuje nejvyšší povolené hmotnosti silničních vozidel, včetně jejich rozdělení na jednotlivé nápravy. Nejvyšší povolené hmotnosti, kterými mohou být zatíženy jednotlivé nápravy, jsou uvedeny v Tabulce 3.

Tabulka 3: Nejvyšší povolené hmotnosti na nápravu [11]

Druh	Zatížení [t]
jednotlivá náprava	10,00
jednotlivá hnací náprava	11,50
dvojnáprava motorových vozidel - součet zatížení obou náprav dvojnápravy nesmí překročit při jejich dílčím rozvoru:	
<1 m	11,50
1-1,3 m	16,00
1,3-1,8 m	18,00
dvojnáprava přípojných vozidel - součet zatížení obou náprav dvojnápravy nesmí překročit při jejich dílčím rozvoru:	
<1 m	11,00
1-1,3 m	16,00
1,3-1,8 m	18,00
1,8 m<	20,00
trojnáprava přípojných vozidel - součet zatížení tří náprav trojnápravy nesmí překročit při jejich dílčím rozvoru jednotlivých náprav:	
<1,3 m	21,00
1,3-1,4 m	24,00

Hmotnost silničních vozidel pak nesmí překročit hodnoty uvedené v Tabulce 4.

Tabulka 4: Nejvyšší povolená hmotnost vozidel [11]

Druh vozidla	Max. hmotnost[t]
motorové vozidlo se dvěma nápravami	18,00
motorové vozidlo se třemi nápravami	25,00
motorové vozidlo se čtyřmi nápravami a více	32,00
přívěsy se dvěma nápravami	18,00
přívěsy se třemi nápravami	24,00
přívěsy se čtyřmi nápravami a více	32,00
dvoučlánkové kloubové autobusy	28,00
tříčlánkové kloubové autobusy	32,00
jízdní soupravy	48,00
pásová vozidla	18,00

3.2 Mezinárodní legislativa

- Evropská hospodářská komise při OSN (EHK/OSN)
- Evropské hospodářské společenství (EHS/ES)
- Mezinárodní normalizační organizace (ISO)
- Evropské normy EN

Mezi významné normy z hlediska stability nákladního vozidla patří např.:

- ISO 8855:2011 – Dynamika automobilu a stabilita jízdy – názvosloví,
- EHS 97/27 – Rozměry vozidel M_2, M_3, N_2, N_3 a přípojných vozidel O,
- ISO 612:1978 – Rozměry motorových a přívěsných vozidel,
- ISO 11012:2009 – Nákladní automobily a autobusy. Metodologie zkoušení stability proti převrácení – test po uzavírající se dráze – J test,
- EHK 111 – Stabilita proti překlopení cisternových vozidel,
- ISO 15037:2006 – Zkoušky dynamiky vozidel. Obecné podmínky pro nákladní automobily a autobusy,
- EHS 96/53 – Rozměry a hmotnosti,
- ISO 16333:2011 – Nákladní automobily a autobusy. Statický práh převrácení. Test naklápěním,
- ISO 14792:2011 – Nákladní automobily a autobusy. Test při jízdě v ustáleném kruhu,
- ISO 14793:2011 – Nákladní automobily a autobusy. Test odezvy na boční vstupní přechodový stav.

4 Teorie dynamiky vozidla

Obor fyziky, který se zabývá přemisťováním těles v prostoru a čase a změnami jejich tvarů a velikostí se nazývá mechanika. Ta se dle vztahu k příčinám studovaného pohybu děli na kinematiku a dynamiku. Dynamika se obecně zabývá příčinami pohybu hmotných objektů a případnými změnami jejich pohybového stavu. Oproti kinematice, která má za úkol klasifikaci a popis jednotlivých druhů pohybu, se dynamika zabývá pohybem z hlediska silového působení, za jakých podmínek a proč se tělesa pohybují.

4.1 Trojrozměrná referenční soustava

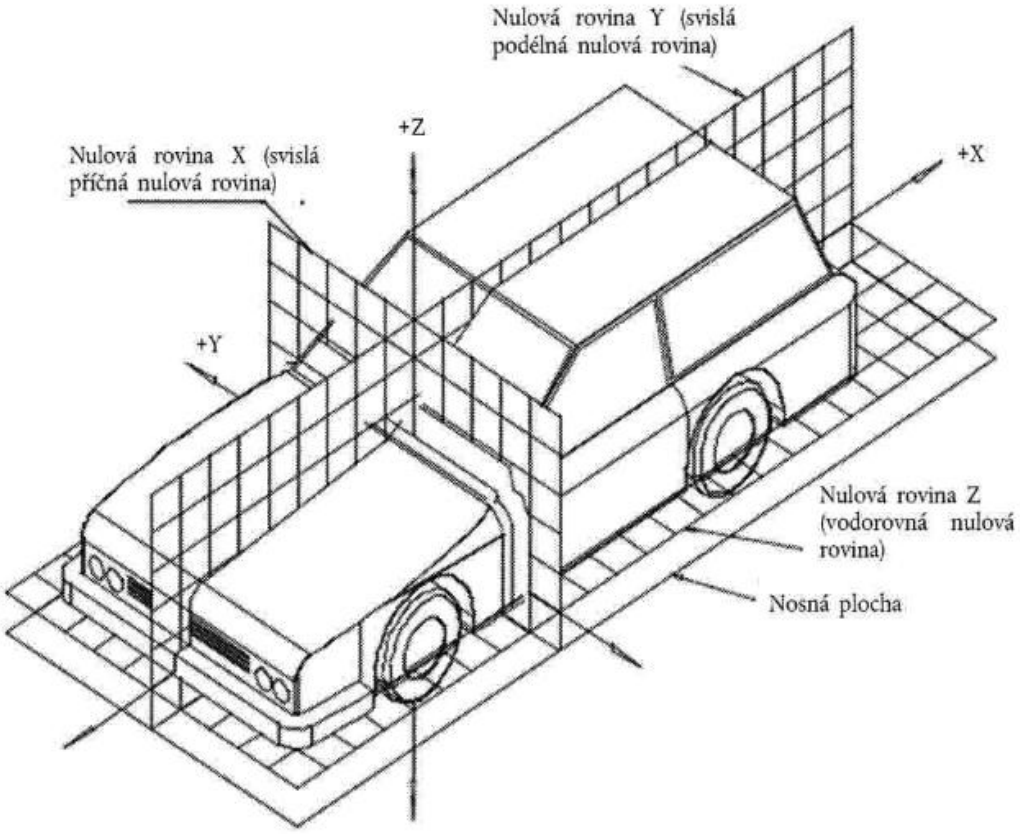
K popisu dynamiky vozidla je nejdříve nutné určit vztažnou (referenční) soustavu, ve které dochází k pohybu vozidla. Ta je definována dle normy ISO 4130, jde o tzv. trojrozměrnou referenční soustavu. Ta se skládá ze tří na sebe kolmých rovin a určuje orientaci hlavních směrů: X (podélný směr), Y (příčný směr) a Z (svislý směr). Dále definuje možné pohyby okolo takto určených os, jedná se o:

- klopení – pohyb kolem osy X (úhel ψ),
- klonění – pohyb kolem osy Y (úhel φ),
- stáčení – pohyb kolem osy Z (úhel ε).

Na karoserii každého vozidla se vyskytují minimálně tři body definované výrobcem, jejichž rozvržení je vztaženo k této soustavě. S jejich pomocí je možné určit polohu vozidla vůči rovině vozovky při různých případech zatížení.

V praxi jsou rozlišovány dva hlavní typy souřadných systému:

- globální (počátek souřadnic leží v rovině vozovky),
- lokální (počátek souřadnic umístěn v těžišti odpružené části vozidla nebo v těžišti celého vozidla)



Obrázek 7: Trojrozměrná referenční soustava [4]

Na základě tohoto označení rozlišujeme tři základní druhy dynamiky vozidla, jedná se o podélnou, příčnou a svislou dynamiku. V praxi působí síly těchto skupin současně a jsou navzájem provázány.

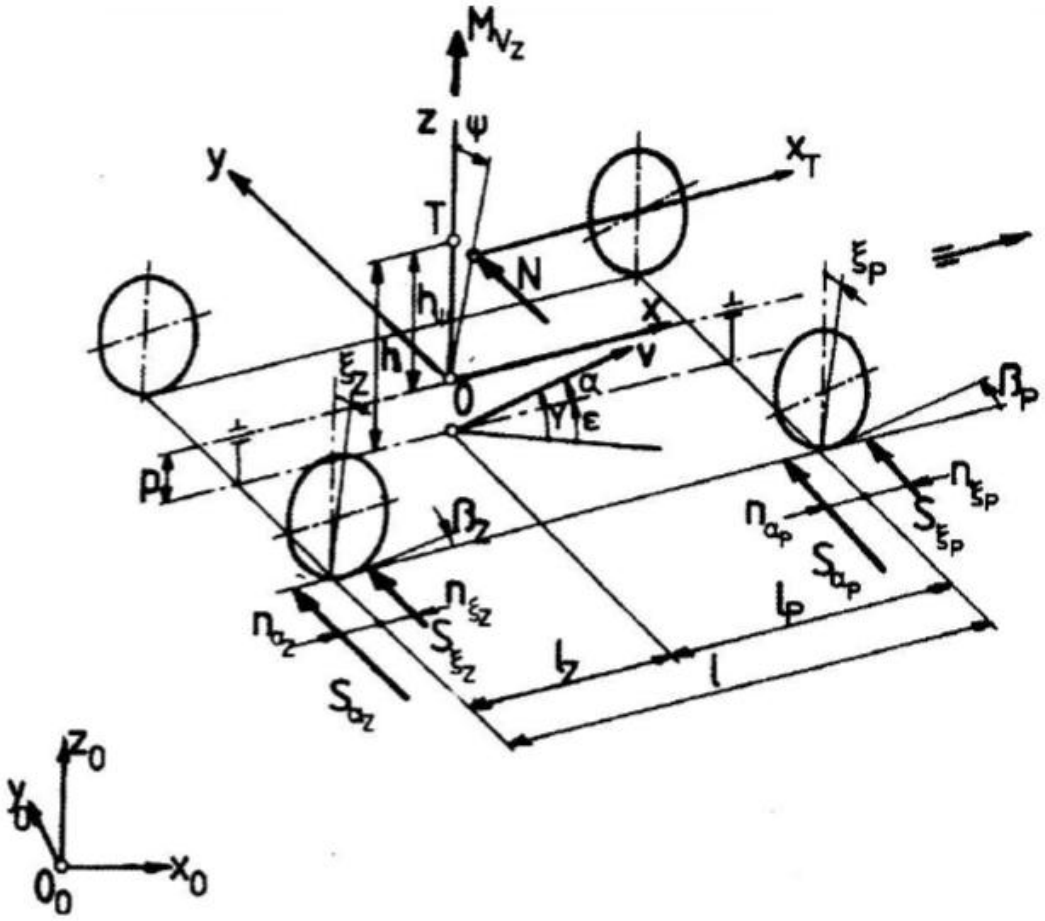
Podélná dynamika se zabývá pohybem vozidla ve směru osy X (problematika přímé jízdy). Zabývá se akcelerací automobilu, jeho jízdními výkony a odpory či brzděním. Pro dopředný pohyb vozidla musí být splněna podmínka, že hnací síla vozidla musí výt vyšší než síly odporové. Mezi ty patří valivý odpor, odpor stoupání, tření, setrvačnosti a aerodynamický odpor.

Příčná dynamika, někdy nazývána jako dynamika směrová, analyzuje pohyb ve směru osy Y (problematika jízdy ve směrovém oblouku). Jedná se o zkoumání sil působících v příčném směru, jako jsou např. odstředivá síla, vychýlení bočním větrem či síla vzniklá nesprávným zatížením vozidla.

Svislá dynamika se zabývá pohyby ve směru osy Z (pérování a pružení vozidla).

4.2 Prostorový model dynamiky vozidla

K popisu pohybu vozidla a analýze jeho řiditelnosti a stability se využívá model znázorněný na Obrázku 8. V případě tohoto modelu je těžiště vozidla uvažováno nad rovinou vozovky. Díky tomu je možné sledovat naklápění kolem podélné osy vlivem odstředivé síly.



Obrázek 8: Prostorový model vozidla [1]

Odstředivá síla je definována vztahem:

$$F_d = \frac{m \cdot v^2}{R}$$, kde

m – hmotnost vozidla [*kg*]

v – okamžitá rychlost vozidla [$m*s^{-1}$]

R – poloměr oblouku [*m*]

V případě, že těžiště vozidla leží ve výšce *h* nad povrchem vozovky, pak je odstředivou sílou a bočními reakcemi pneumatik vyvolán moment $M = m \cdot \frac{v^2}{R} \cdot h$.

Ten naklápí vozidlo o úhel ψ a tím vyvolá změnu svislého zatížení kol. Naklápění probíhá kolem okamžité osy klopení, která je vodorovná a leží ve svislé vzdálenosti h_ψ od těžiště vozdila. Na základě tohoto modelu lze sestavit lineární pohybové rovnic: [1]

1) Rovnice vyjadřující rovnováhu sil ve směru osy x (=podélný pohyb):

$$-m \cdot \dot{v} + H_p + H_z - O_v = 0 \text{ , kde}$$

H_p – obvodové síly na přední nápravě

H_z – obvodové síly na zadní nápravě

O_v – odpor vzduchu

m – celková hmotnost vozidla

2) Rovnice vyjadřijící rovnováhu sil ve směru osy y (=vybočení vozidla z přímého směru):

$$-m \cdot \dot{v} \cdot (\dot{\varepsilon} + \dot{\alpha}) + m_\psi \cdot h_\psi \cdot \ddot{\psi} + S_{\alpha p} + S_{\alpha z} + S_{\xi p} + S_{\xi z} + N = 0 \text{ , kde}$$

m_ψ - hmotnost odpružené části karoserie

m – celková hmotnost vozidla

Zatímco vztah $-m \cdot \dot{v} \cdot (\dot{\varepsilon} + \dot{\alpha})$ vyjadřuje působení setrvačných sil na celé vozidlo, $m_\psi \cdot h_\psi \cdot \ddot{\psi}$ vyjadřuje působení pouze na karoserii.

3) Rovnice vyjadřující rovnováhu sil ve směru osy z (=stáčení vozidla kolem svislé osy):

$$-J_z \cdot \ddot{\varepsilon} + \left(l_p - n_{ap}\right) \cdot S_{ap} - \left(l_z - n_{az}\right) \cdot S_{az} + \left(l_p - n_{\xi p}\right) \cdot S_{\xi p} - \left(l_z - n_{\xi z}\right) \cdot S_{\xi z} + M_{VZ}$$

$$+ \sum M_{GZ} = 0 \text{ , kde}$$

J_z - moment setrvačnosti ke svislé ose

$\sum M_{GZ}$ - součet gyroskopických momentů všech čtyř kol vzhledem k jejich svislým osám

4) Rovnice vyjadřující rovnováhu sil ve směru osy x_T:

$-J_\psi \cdot \ddot{\psi} - K_\psi \cdot \dot{\psi} - C_\psi \cdot \psi + G_\psi \cdot h_\psi \cdot \psi + h \cdot S_{\alpha p} + h \cdot S_{\alpha z} + h \cdot S_{\xi p} + h \cdot S_{\xi z} + \sum M_{G_x} = 0$, kde

J_ψ - moment setrvačnosti vozidla k ose x_T

K_ψ - konstanta viskózního tlumení klopení karoserie

C_ψ - celková klopná tuhost vozidla

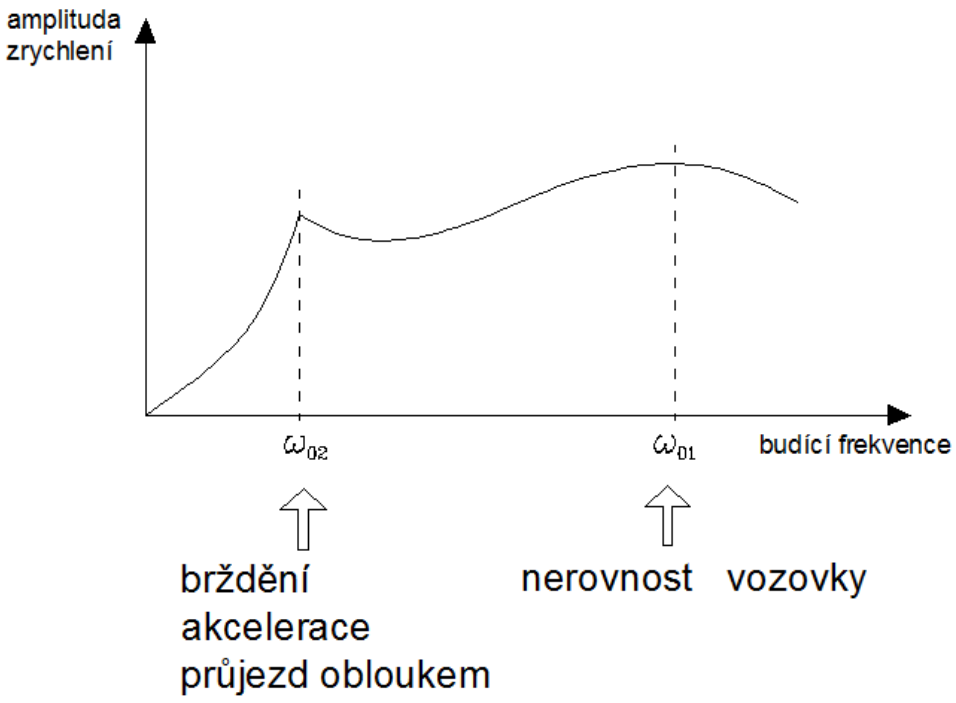
G_ψ - tíha klopících se částí (tíha karoserie)

$\sum M_{G_x}$ je součet gyroskopických momentů všech čtyř kol k jejich podélným osám.

V případě této rovnice není uvažováno brzdění.

4.3 Vlastní kmitání vozidla

Kmitavé vlastnosti soustavy lze vyjádřit pomocí tzv. amplitudové frekvenční charakteristiky. To je grafické znázornění absolutní hodnoty přenosu v závislosti na budící frekvenci. Příklad takové charakteristiky je uveden na Obrázku 9.



Obrázek 9: Amplitudová frekvenční charakteristika zrychlení nástavby

V dynamickém stavu vozidla mohou existovat dva základní budící zdroje – nerovnost vozovky nebo akcelerace, brzdění a jízda ve směrovém oblouku.

Síly buzené nerovností vozovky nejsou ovlivněny zrychlením soustavy ve směrech x a y, jsou závislé pouze na zrychlení ve směru osy z. Působí cyklicky ve frekvenci podobné vlastní frekvenci neodpružených hmot. Tato frekvence je dána vztahem $\omega_{01} = \sqrt{\frac{c}{m_1}}$, kde

m_1 - hmotnost neodpružených částí [*kg*]

c – tuhost pružiny [$N \cdot m^{-1}$]

Síly vyvolané akcelerací, brzděním nebo jízdou ve směrovém oblouku (odstředivou silou) působí v těžišti soustavy vozidlo+náklad. Frekvence jejich působení je blízká vlastní frekvenci nástavby a je dána vztahem $\omega_{02} = \sqrt{\frac{c}{m_2}}$, kde

m_2 - hmotnost nástavby [*kg*]

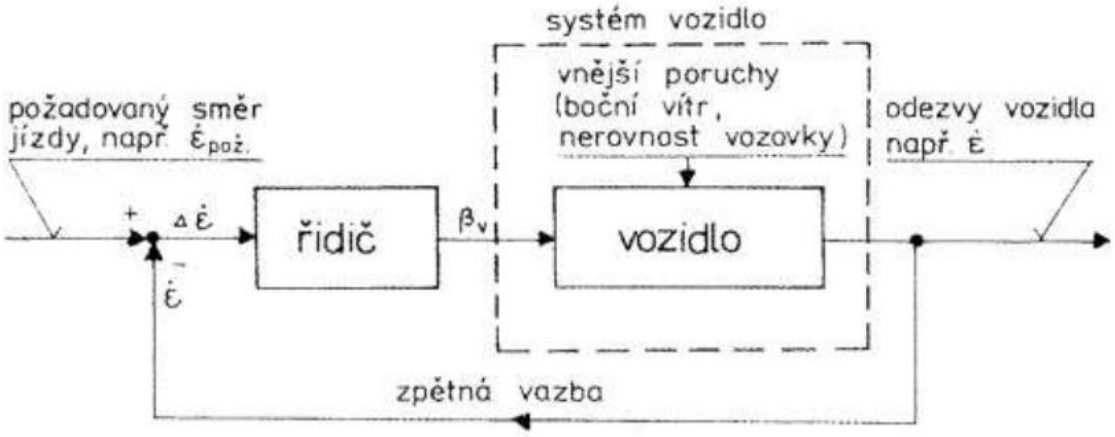
c – tuhost pružiny [$N \cdot m^{-1}$]

Hlavní rozdíl mezi těmito silami je v jejich frekvenci. Síly buzené nerovnostmi vozovky působí ve vysokých frekvencích a ve směru osy z, druhý typ sil pak ve frekvencích nízkých ve směrech os x a y. A druhý typ sil je také charakteristický pro detekci stability vozidla. Síly buzené nerovností vozovky mají rušivý efekt. Z toho důvodu je nutné tyto 2 typy sil separovat.

K tomu bude užit frekvenční filtr, který dovede na základě budící frekvence určit, o který typ síly se jedná a zda hraje roli v určování stability vozidla.

5 Řiditelnost a stabilita vozidla

Pojmem řiditelnost rozumíme odezvy automobilu na natáčení volantu při konstantní rychlosti jízdy. Určitému natočení volantu odpovídá např. určitá hodnota úhlové rychlosti otáčení pozorovaného vozidla kolem svislé osy $\dot{\varepsilon}$ (jedná se o tzv. stáčivou rychlost), která je odezvou vozidlového systému. Blokové schéma tohoto procesu je znázorněno na Obrázku 10. Stabilita (zejména pak směrová) vyjadřuje vlastnost vozidla udržovat jeho směr vytýčený řízením i v případě působení vnějších momentů a sil.



Obrázek 10: Blokové schéma řízení automobilu [1]

5.1 Stabilita vozidla

Jedním z hlavních požadavků na konstrukci každého vozidla je jeho maximální stabilita. Zjednodušeně platí, že stabilita vyjadřuje schopnost předmětu udržet rovnovážnou stálou polohu. Překročení meze stability, tedy okamžik změny stavu vozidla ze stabilního na labilní, lze chápat jako okamžik ztráty kontroly nad vozidlem. Stabilita je ovlivňována polohou těžiště vozidla. Ta je definována konstrukcí a v nenaloženém stavu je neměnná. Změna nastává v okamžiku zatěžování. Každé vozidlo má předepsanou maximální nosnost, při které je ještě zaručena jeho stabilita. V případě přetížení se těžiště vychýlí mimo bezpečné meze a dochází k destabilizaci vozidla.

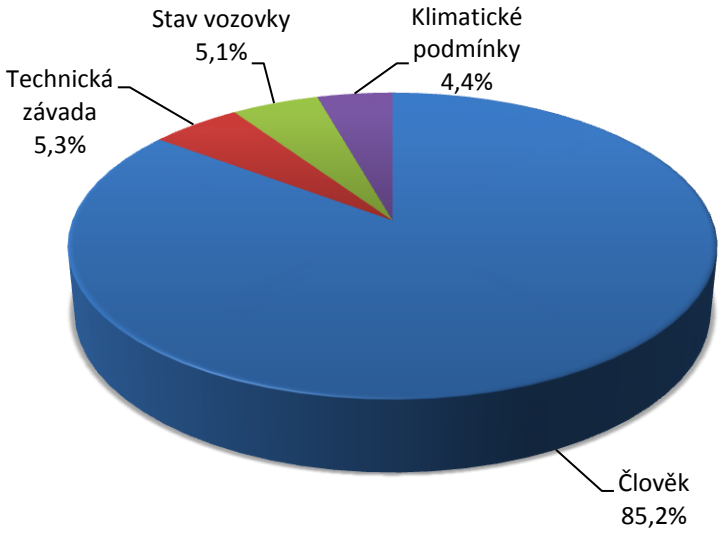
Stejně jako na dynamiku vozidla lze i na stabilitu nahlížet různými pohledy. Směrová stabilita vyjadřuje schopnost vozidla udržovat směr pohybu (nejčastěji vyšetřována v podélné rovině). Překročení meze stability může vyústit v smyk. Stabilita proti převrácení pak definuje schopnost vozidla zachovat adhezi s vozovkou z důvodu otáčení okolo podélné či příčné osy. Opět platí, že není možné od sebe tyto stavy izolovat a analyzovat je odděleně.

5.1.1 Činitelé mající vliv na stabilitu vozidla

Na stabilitu vozidla má výrazný vliv celá řada faktorů jak vnějších, tak i vycházejících z vlastností a způsobu jeho zatížení. Obecně je lze rozdělit do těchto skupin:

- chování řidiče a způsob jeho řízení,
- poloha těžiště dána konstrukcí vozidla,
- vnější prostředí,
- způsob uložení nákladu a jeho vlastnosti.

První jmenovaný faktor, řidič vozidla, je řídící a regulační prvek soustavy a zároveň nejslabší článek soustavy člověk-vozidlo-vozovka. Tento fakt dokazuje i již zmíněná studie ETAC, viz. Obrázek 11. Jedná se o stochastickou složku systému, jelikož do něj vnáší určitou nepředvídatelnost. Každý člověk je charakteristický individuálními prvky chování, které nelze přesně simulovat nebo matematicky popsat. Toto nepředvídatelné chování může být ještě dále ovlivněno mnoha vlivy, např. únavou či požitím omamných a návykových látek.



Obrázek 11: Hlavní příčiny vzniku nehod n. vozidel dle ETAC [5]

Vnější prostředí ovlivňuje jízdní vlastnosti a stabilitu vozidla jak prostřednictvím povrchu vozovky (mající výrazný vliv na adhezi), tak i prostřednictvím větru (zejména bočního). Do této kategorie se také dají zařadit faktory mající dopad na celkovou viditelnost, jako např. denní doba jízdy (den či noc), podmínky výhledu či případná mlha.

Poloha těžiště je vlastnost vozidla, která mu byla dána jeho konstrukcí. V nezatíženém stavu je tedy neměnná. Ke změně jeho polohy dochází teprve zatěžováním vozidla. Změna polohy těžiště sebou nese i změnu jízdních vlastností. Jak již bylo uvedeno, chování každého řidiče je velmi individuální a může dojít k situaci, kdy nebude řidič vozidla schopen adekvátně reagovat na takto vzniklou změnu. Je proto důležité dbát na kontrolu zatížení vozidla, aby těžiště vozidla nebylo vychýleno za přípustné meze, kdy by se prudce zhoršila řiditelnost.

Způsob uložení nákladu se na první pohled může jevit jako nevýrazný faktor. Zejména u nákladních vozidel, jejichž nákladový prostor zabírá podstatnou část automobilu, má významný vliv na stabilitu vozidla. Náklad se může významnou měrou podílet na pohybu těžiště vozidla a podstatně tak i měnit jeho jízdní vlastnosti. K jejich ovlivnění může snadno dojít i v případech, kdy je břemeno neupevněno či není možné ho nějakým způsobem ukotvit. V těchto situacích může docházet k jeho přesypání či přetékání nebo posunu a rotaci. K překročení meze stability vozidla může dojít také v případech, kdy je náklad nerovnoměrné rozložený, excentricky umístěný, nevyvážený či mění své vlastnosti v průběhu jízdy (tuhnou či sedimentují).

Podstatnou roli hraje i hmotnost nákladu. Je také nutné dodržovat maximální zatížení celého vozidla i jednotlivých náprav, které je dáno jeho konstrukcí. V případě, kdy dojde k přetížení vozidla nebo jeho nápravy, dochází k značnému ovlivnění jízdních vlastností, zvýšené míře opotřebení (a s tím spojenému zkracování životnosti automobilů) a má negativní vliv na stav dopravní infrastruktury, který se zpětně odráží na jízdních vlastnostech vozidla.

5.2 Řiditelnost vozidla

Pojem řiditelnost je možné chápat mnoha způsoby. Je-li vozidlo ovládáno řidičem, mluvíme o subjektivní řiditelnosti. V případě, že dojde k vyloučení všech vlivů řidiče, je možné hovořit o objektivní řiditelnosti. S její pomocí lze pozorovat a dále analyzovat odezvy vozidla na definované řídící vstupy. Významnými podkategoriemi jsou statická a dynamická řiditelnost. Ty jsou stručně rozvedeny v následujících podkapitolách.

5.2.1 Statická řiditelnost

Statická řiditelnost vozidla je definována odezvami vozidlového systému na natáčení volantu při ustálené jízdě konstantní rychlostí po kruhové dráze o stálém poloměru. Dojde-li ke zvýšení rychlosti jízdy, zvýší se i dostředivé zrychlení těžiště vozidla. K dosažení tohoto efektu je také možné ponechat rychlost pohybu konstantní a postupně měnit poloměr dráhy. Tato varianta je ovšem z důvodu prostorových nároků méně vhodná.

Při ustálené jízdě v kruhu platí pro danou rychlost $\dot{\varepsilon} = \dot{\varepsilon}_{stat} = konst,\ a = a_{stat} = konst.$ Z toho vyplívá $\ddot{\varepsilon} = \dot{a} = 0$ a pohybové rovnice mají při zanedbání vzdušných účinků tvar:[1]

$$\frac{1}{v}\left[m \cdot v^2 - \left(C_{\alpha Z} \cdot l_Z - C_{\alpha P}^{'} \cdot l_P\right)\right]\dot{\varepsilon}_{stat} + \left(C_{\alpha P}^{'} + C_{\alpha Z}\right)\alpha_{stat} = C_{\alpha P}^{'} \cdot \beta_{Vstat}^{*} \ ,$$

$$\frac{1}{v}\left[\left(C_{\alpha P}^{'} \cdot {l_P}^2 - C_{\alpha Z} \cdot {l_Z}^2\right)\right]\dot{\varepsilon}_{stat} + \left(C_{\alpha Z} \cdot l_Z + C_{\alpha P}^{'} \cdot l_P\right)\alpha_{stat} = C_{\alpha P}^{'} \cdot l_P \cdot \beta_{Vstat}^{*} \text{ ,kde}$$

l_Z – vzdálenost zadní nápravy od těžiště,

l_P – vzdálenost přední nápravy od těžiště,

$C_{\alpha Z}$ – směrová tuhost pneumatik zadní nápravy,

$C_{\alpha P}^{'}$ - směrová tuhost pneumatik přední nápravy,

β_{Vstat}^{*} - úhel natočení volantu.

Dostředivé zrychlení těžiště vozidla při ustálené jízdě na kruhové dráze je:

$$\ddot{y}_{stat} = \frac{v^2}{R} = v \cdot \dot{\varepsilon}_{stat}$$

Statickými odezvami na natáčení volantu β_V^* jsou tedy tři veličiny - $\dot{\varepsilon}_{stat}$, a_{stat}, a $\ddot{y}_{stat}$. Poměr statické odezvy a úhlu natočení volantu se nazývá statický zisk. Vztah pro jeho výpočet lze dostat z pohybových rovnic a má tvar:

$$\left(\frac{\dot{\varepsilon}}{\beta_V^*}\right)_{stat} = \frac{C_{\alpha P}^{'} \cdot C_{\alpha Z} \cdot l}{C_{\alpha P}^{'} \cdot C_{\alpha Z} \cdot l^2 + m\left(C_{\alpha Z} \cdot l_Z - C_{\alpha P}^{'} \cdot l_P\right) \cdot v^2} \cdot v = \frac{v}{l + K \cdot v^2}$$

S jeho pomocí lze nadefinovat tzv. faktor stability K.

$$K = m\frac{C_{\alpha Z} \cdot l_Z - C_{\alpha P}^{'} \cdot l_P}{C_{\alpha P}^{'} \cdot C_{\alpha Z} \cdot l}$$

S jeho pomocí lze rozdělit vozidla do těchto skupin:

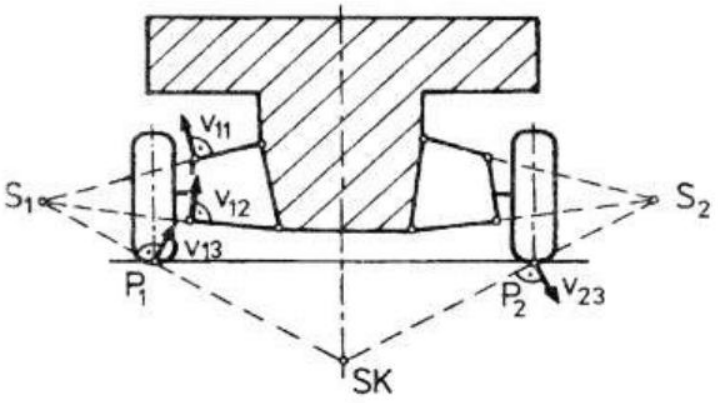
- neutrální pro K=0,
- neotáčivé pro K>0,
- přetáčivé pro K<0.

5.2.2 Dynamická řiditelnost

Dynamická řiditelnost automobilu je určena vlastnostmi neustálených odezev vozidla na předem určené řídící vstupy při konstantní rychlosti jízdy. Je-li na vstup do soustavy přiveden budící signál, pak výstup ze systému nazveme odezvou soustavy. V momentě, kdy je sledovaný systém v rovnovážném stavu a do jeho vstupu je přiveden skokový signál, pak jeho odezvu nazveme přenosovou funkcí. Grafické znázornění takové funkce se nazývá přechodová charakteristika.

5.3 Naklápění vozidla

Vozidlo, jehož těžiště leží ve výšce *h* nad vozovkou se pohybuje konstantní rychlostí po kruhové dráze konstantního poloměru. Kolem podélné osy vozidla je vyvolán klopný moment $M = m \cdot \frac{v^2}{R} \cdot h$. Tento moment naklápí vozidlo a tím dochází k změně svislého zatížení kol. Zatížení předního kola blíže středu směrového oblouku se zmenší o hodnotu ΔZ_P, zatímco zatížení vnějšího kola se o tuto hodnotu zvětší. Totožná situace se odehraje i na kolech ostatních náprav. Pohyb tělesa lze chápat jako otáčení kolem určitého bodu (středu otáčení). Na Obrázku 12 je znázorněno umístění středů klopení kol a střed klopení karoserie pro lichoběžníkovou nápravu.



Obrázek 12: Středy klopení kol a střed klopení karoserie [1]

Naklápění karoserie automobilu lze chápat jako okamžité otáčení kolem bodu SK (střed klopení). Jeho umístění se v průběhu jízdy mění a je závislá na příčném sklonu vozovky a náklonu karoserie.

Moment působící opačným směrem, než je směr klopení, se nazývá vratný moment nápravy. Jeho vlivem dochází u vozidel k tzv. samořízení, díky němuž se kola přední nápravy natáčejí kolem svých svislých os.

6 Systém kontroly stability

Předmětem této práce je návrh informačního systému kontroly stability zejména užitkových vozidel. Ten by měl být na základě znalosti aktuálních parametrů vozidla a okolního prostředí schopný upozornit na hrozící nebezpečí, vzniklé snížením stability automobilu. Jak již bylo uvedeno, významný vliv na stabilitu vozidla má poloha jeho těžiště. V něm působí všechny síly působící na vozidlo, s výjimkou sil aerodynamických. S postupným zatěžováním se jeho poloha mění. V případě, že je tato zátěž nadměrná (vozidlo je přetíženo), nerovnoměrně rozložená nebo neupevněná, může dojít k destabilizaci vozidla. Ve statickém stavu nemusí být tato destabilizace patrná a projeví se až při uvedení vozidla do pohybu.

Této problematice je v poslední době věnována zvýšená pozornost. To se dá usuzovat z faktu, že se stabilizační systémy staly součástí nově vyráběných automobilů, některé z nich pak i povinně. Mezi komerčně nejvíce využívané systémy patří:

- ABS – protiblokovací systém
- ASR – protiprokluzový systém
- ESP – elektronický stabilizační systém

Obecně se dá k návrhu takového systému přistoupit třemi různými způsoby. Může se jednat o systémy na úrovni automobilu, které v případě potřeby zasáhnou automaticky, bez vědomí obsluhy vozidla či jejího přímého zásahu. Dalším případem jsou systémy zaměřující se na dopravní síť. Do této skupiny patří vhodné a konzistentní dopravní značení upozorňující zejména na problematické úseky z hlediska řízení nákladního vozidla (např. vysoká hodnota příčného či podélného sklonu komunikace). Poslední skupina je zaměřena na řidiče automobilu. Tyto systémy upozorní obsluhu vozidla na nebezpečnou situaci, přičemž neprovádějí automaticky žádnou akci a rozhodnutí ponechají na řidiči. Právě do této skupiny patří navrhovaný systém.

Významný vliv na dynamickou stabilitu vozidla má odstředivá síla. Ta vzniká při jízdě vozidla ve směrovém oblouku. V případě, že je vozidlo naloženo neupevněným nákladem (poloha jeho těžiště se může v průběhu přepravy měnit), není velikost odstředivé síly konstantní. Je ovlivněna silou vznikající z důvodu mobilního těžiště. V extrémních případech nemusí být řidič schopen dostatečně zareagovat na vzniklou situaci a z důvodu tohoto vychýlení může dojít ke ztrátě kontroly nad vozidlem.

7 Měřené veličiny

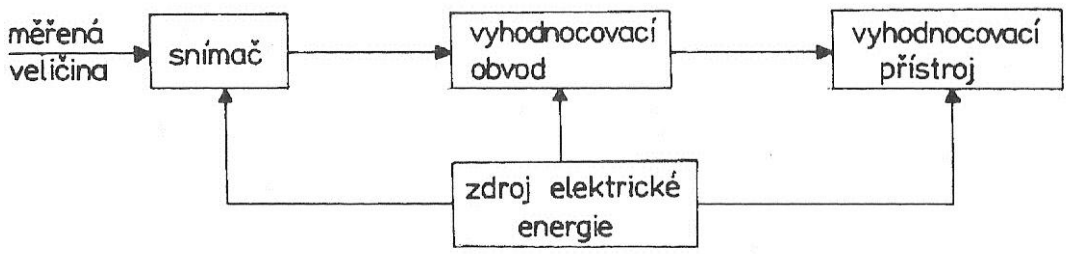
Tento systém je založen na měření času, zrychlení, sil na nejméně čtyřech místech na rozhraní odpružených a neodpružených hmot a měření úhlu náklonu odpružené části. Tato data jsou zasílána do výpočetního zařízení a jsou neustále porovnávány s technickými parametry vozidla a parametry vozovky a v případě překročení limitních hodnot je řidičovi prostřednictvím displeje předána akustická či vizuální informace. Ta ho může upozorňovat na např. mobilní těžiště, přetížení vozu, hrozící nebezpečí překlopení či odlehčení řízené nápravy. Dále je přijímán signál lokalizačního systému GPS.

Tabulka 5: Přehled měřených veličin

Značení	Jednotka	Popis
t	[s]	čas
a	[m*s^{-2}]	zrychlení
F	[N]	síly na rozhraní odpružených a neodpružených hmot
Φ	[°úhl]	podélný úhel náklonu odpružené části
∂	[°úhl]	příčný úhel náklonu odpružené části

7.1 Měřící technika

K měření potřebných veličin je nutné využívat přesnou a spolehlivou techniku, která odolá všem nepříznivým vlivům (např. vlhkost, vibrace) na ni působící. Na Obrázku 13 je znázorněno blokové schéma měření neelektrických veličin. Naměřené hodnoty jsou ve snímači transformovány v elektrický signál, který je předán vyhodnocovacímu obvodu. V něm dojde ke zpracování přijatého signálu a vytvoření informace o parametrech měřené veličiny. Ta je pak skrze vyhodnocovací přístroj předávána k dalšímu zpracování.



Obrázek 13: Blokové schéma měření neelektrických veličin [7]

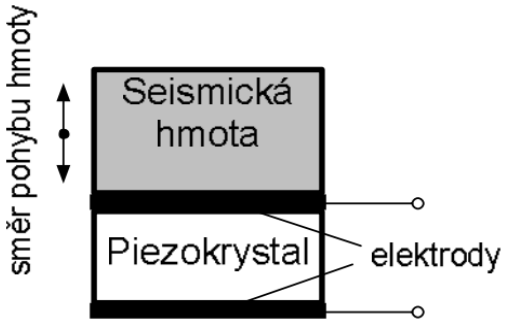
7.1.1 Měření zrychlení

K měření zrychlení soustavy v určitém bodě se využívají akcelerometry. Jedná se o zařízení, které zaznamenává velikost vychýlení pružně uložené hmoty vůči základně. Velikost tohoto vychýlení je přímo úměrná zrychlení.

Pro navrhovaný systém by mohl být využit jeden z těchto typů: [8]

- piezoelektrické akcelerometry

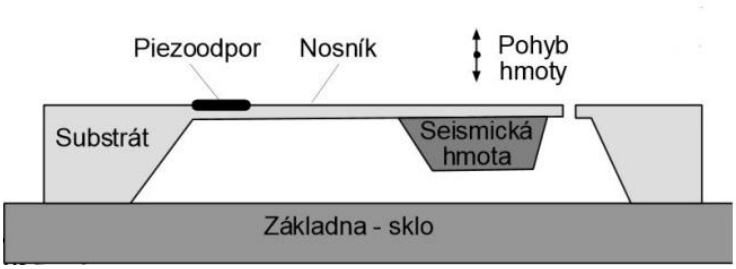
Pro svou funkci využívají piezoelektrický materiál (při svém deformování generuje elektrické napětí), na který působí seismická hmota. Velikost vzniklého náboje je přímo úměrná mechanickému namáhání piezokrystalu.



Obrázek 14: Schéma piezoelektrického akcelerometru [8]

- piezoodporové akcelerometry

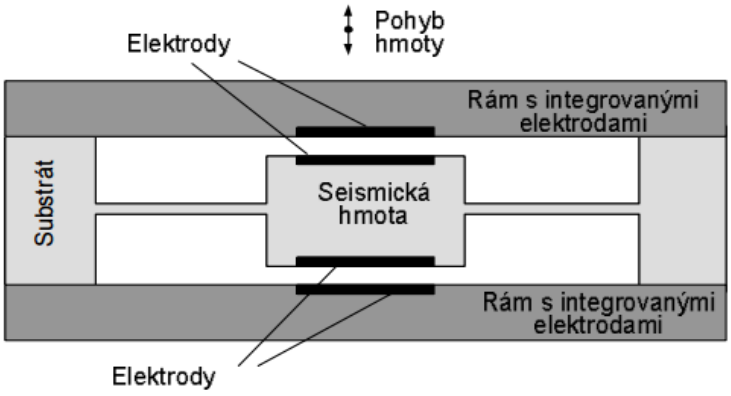
Pohybem seismické hmoty dochází k namáhání nosníku, na kterém je veden piezoodporový element. Ten je vlivem kmitání nosníku prodlužován či zkracován a tím je měněna hodnota jeho odporu.



Obrázek 15: Schéma piezoodporového akcelerometru [8]

- kapacitní akcelerometry

Zjednodušeně se jedná o deskový kondenzátor, ve kterém je umístěna jedna pohyblivá elektroda. Při změnách zrychlení dochází k jejímu pohybu a tím i ke změně kapacity.



Obrázek 16: Schéma kapacitního akcelerometru [8]

7.1.2 Měření síly

Síly působící na rozhraní odpružených a neodpružených hmot je možné sledovat pomocí tenzometrů. Jedná se o zařízení snímající deformaci na povrchu materiálu a s tím souvisejícího mechanického napětí. V minulosti využívané mechanické, optické, akustické či pneumatické tenzometry jsou dnes plně nahrazeny odporovými či polovodičovými tenzometry. Jedná se o čidla pevně spojená či nalepená na povrch analyzované součástky, která jsou schopna převádět mechanickou deformaci materiálu na změnu elektrického odporu.

Odpor tenzometru je dán vztahem:

$$R_t = \frac{l_v \cdot \rho_v}{S_v}, \text{ kde}$$

R_t - odpor tenzometru,

l_v - délka vodiče,

ρ_v - měrný odpor vodiče,

S_v - průřez vodiče.

Tento odpor se vlivem deformace mění o hodnotu ΔR_v, která je dána vztahem:

$$\Delta R_t = R_t \cdot k \cdot \varepsilon_p, \text{ kde}$$

k - konstanta tenzometru,

ε_p - poměrné prodloužení.

Výsledná hodnota napětí se pak jednoduše vypočte z Hookova zákona:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon_p, \text{ kde}$$

σ – napětí,

E – modul pružnosti materiálu.

7.1.3 Měření úhlu náklonu

Změny úhlu náklonu odpružené hmoty je možné sledovat pomocí snímačů úhlu a náklonu. V současnosti jsou nejvíce rozšířeny následující typy těchto měřících přístrojů: [9]

- snímače úhlu a náklonu s gyroskopem

Tato zařízení pracují na základě gyroskopického principu a využívají technologii známou pod zkratkou MEMS (Mikro-Elektro-Mechanické-Systémy). Uvnitř snímače je umístěna tzv. mikro hmota, která je zavěšena na flexibilní konstrukci. Při uvedení snímače do pohybu dojde ke změně kapacity a z ní je následně odvozena hodnota změny sklonu.

- kapalinové snímače úhlu a náklonu

Kapalinové náklonoměry pracují na principu fluidních článků (anglicky Fluid Cell). Měřící přístroj je z velké části naplněn elektrolytem a při jeho stěnách jsou umístěny elektrody. V případě naklonění snímače dojde ke změně výšky hladiny elektrolytu nad elektrodami a tím se sníží nebo zvýší vodivost mezi elektrodami. Na základě této změny je možné určit změnu náklonu.

Změny náklonu lze měřit i akcelerometry, ale pouze v případě, že na něj nepůsobí žádné vibrace či setrvačné síly. Z tohoto důvodu je jejich použití v tomto návrhu nevhodné.

7.1.4 Měření času

K měření času jsou využity stopky zabudované v palubním počítači vozidla. Ty umožňují přesné předání časového údaje, potřebného k vyhodnocení sledovaného stavu, a jsou schopny měřit více časových intervalů najednou. Díky automatickému spouštění a

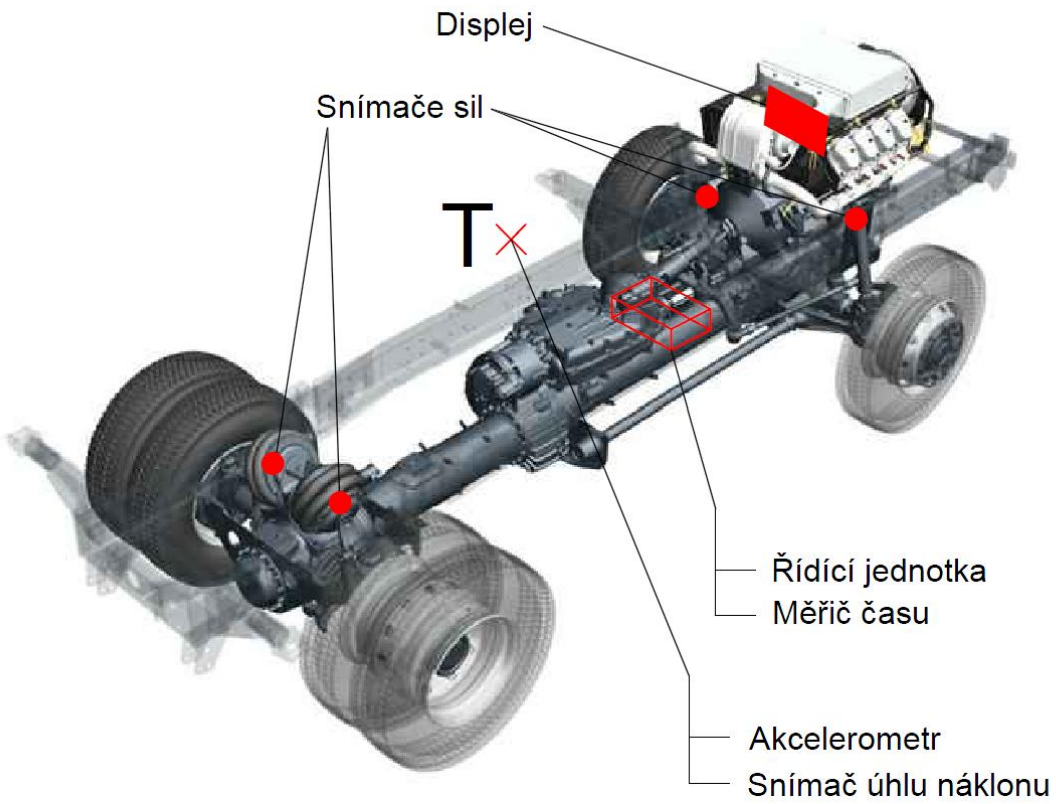
zastavování časomíry je eliminována chyba způsobená lidským faktorem, která je způsobena délkou optické, psychické a svalová reakce.

7.2 Umístění měřících přístrojů

Jak již bylo uvedeno v předchozí kapitole, snímanými veličinami jsou:

- **čas –** snímaný elektronickými hodinami
- **síly –** minimálně čtyři snímače umístěné na rozhraní odpružených a neodpružených hmot
- **úhel náklonu odpružené hmoty –** měřený snímačem úhlu a náklonu
- **zrychlení –** měřené akcelerometrem

Poslední 2 zmíněné veličiny by měly být měřeny v maximální možné blízkosti těžiště. Grafické znázornění umístění měřící techniky je zobrazeno na Obrázku 17:



Obrázek 17: Umístění měřících přístrojů

8 Návrh informačního systému

Jak již bylo uvedeno v části zabývající se statistikou nehod nákladních vozidel, nejčastější příčina jejich vzniku je selhání lidského faktoru. Nezřídka může nastat situace, kdy se vozidlo pohybuje na hranici stability, aniž by tuto skutečnost řidič postřehl. Z tohoto důvodu je nutné klást důraz na vývoj systémů zvyšující bezpečnost provozu. Návrhem takového systému se zabývá i tato práce.

Každý asistenční systém, kterým je vozidlo vybaveno, s sebou vedle jasně pozitivních vlivů nese i pár negativ. Vždy bude platit, že jsou pouze užitečným pomocníkem a řidič vozidla je musí brát jako jakýsi podpůrný prostředek, zvyšující bezpečnost provozu. V případě tohoto systému může dojít např. k situaci, kdy na něj obsluha spoléhá bez jakéhokoli rozmyslu, vede vozidlo po dobu delšího časového intervalu na hraně jeho možností, dokud nedojde k vyhodnocení situace jako kritické, a až po obeznámení řidiče o této skutečnosti dojde ke změně stylu jízdy.

Je nezbytné upozornit, že tento koncept se zabývá pouze informační složkou. V budoucnu je možné a dokonce i žádoucí tento systém doplnit i o regulační složku, která by aktivně zasahovala do jízdy automobilu. Do této kategorie patří např. aktivní brzdění, aktivní stabilizátory či aktivní odpružení. Aktivní brzdy jsou aktivovány pouze v kritických situacích a jejich uvedení v činnost vede k okamžitému uvedení vozidla do stabilního stavu. Aktivní stabilizátory neustále generují moment vyrovnávající moment klopivý. Tím se, stejně jako aktivní systém odpružení, podílejí na zvýšení stability zejména při jízdě ve směrovém oblouku. Také je umožňují projíždět vyššími rychlostmi.

8.1 Přehled podávaných informací

Před samotným začátkem návrhu je nutné určit, jaká část řidičovi pozornosti měla být věnována asistenčnímu systému. Cílem vývojářů je, aby byla co nejmenší a obsluha vozidla se co nejvíce koncentrovala na řízení vozidla a okolní dopravní provoz. Při zjištění překročení mezí stability dojde k upozornění řidiče akustickým signálem, následovaný signálem optickým, zobrazeným na displeji či přístrojové desce automobilu. Zde by měla být uvedena informace, o jaký krizový stav se jedná.

Navrhovaný systém kontroly stability vozidla bude schopný upozorňovat na 13 různých situací, jejich přehled je uveden v následující tabulce:

Tabulka 6: Přehled poskytovaných informací

Značení	Poskytnutá informace
INFO 1	Vozidlo v podélném sklonu
INFO 2	Vozidlo v příčném sklonu
INFO 3	Prázdné vozidlo v rovině
INFO 4	Vozidlo je přetíženo
INFO 5	Řízená náprava je odlehčena
INFO 6	Přetížena n-tá náprava
INFO 7	Levá/pravá strana přetížena o X %
INFO 8	Vozidlo zatíženo z X %
INFO 9	Prázdné vozidlo ve svahu
INFO 10	Hrozící nebezpečí podélného překlopení
INFO 11	Hrozící nebezpečí příčného překlopení
INFO 12	Posun nákladu (těžiště) vzad
INFO 13	Posun nákladu (těžiště) vpřed

8.2 Algoritmus systému kontroly stability

Při návrhu algoritmu je uvažován automobil o dvou nápravách. Tuto koncepci lze ovšem užít i pro vozidla s více nápravami. Samotné řešení je rozděleno do dvou hlavních částí – statické a dynamické.

Statická část algoritmu je aktivní, jestliže je rychlost vozidla nulová (vozidlo v klidu). Sleduje parametry zatížení automobilu ještě před jeho uvedením do pohybu a porovnává je s konstrukčními parametry, které byly vloženy výrobcem vozidla, či platnou legislativou. V současné době však není v silách řidiče užitkového vozidla, aby splnění limitů těmito předpisy kontroloval a ověřoval rovnoměrné rozložení nákladu. Vedle poskytování informací o stabilitě a případném překročení limitů či zvýšení bezpečnosti proti překlopení tedy tento systém slouží i jako průběžná kontrola plnění současné legislativy.

Využitelnost této části algoritmu je zejména v průběhu zatěžování (nakládka). V jeho průběhu je obsluha informována o případném přetížení vozidla či přetížení některé z náprav nebo strany vozidla a jeho hmotnosti.

Dynamická část systému je aktivována uvedením vozidla do pohybu. Po uvedení vozidla do pohybu je do systému uložena informace o výšce těžiště soustavy a jeho případné mobilitě. V případě hrozícího podélného či příčného převrácení vozidla je vyslán hlasitý akustický signál do kabiny obsluhy. O těchto informacích je řidič informován prostřednictvím displeje.

V algoritmu je používáno značení hmotností vozidla dle normy ISO 1176:1990, popis jednotlivých označení je uveden v Tabulce 5.

Tabulka 7: Značení hmotností vozidla dle ISO 1176:1990 [10]

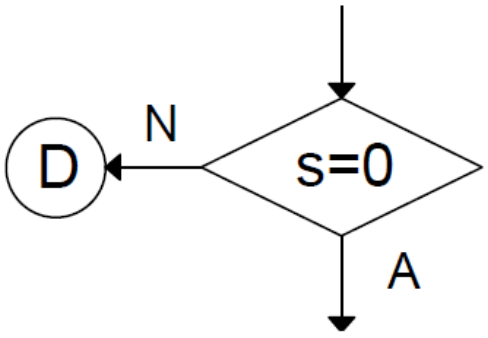
Označení	Popis zkratky
M06	Pohotovostní hmotnost kompletního vozidla
M07	Konstrukční celková hmotnost, nejvyšší celková hmotnost stanovená výrobcem
M08	Přípustná celková hmotnost stanovená správními orgány jako nejvyšší pro určité provozní podmínky
M11	Největší konstrukční hmotnost na nápravu
M13	Největší přípustná hmotnost na nápravu
M18	Největší konstrukční hmotnost přívěsové jízdní soupravy
M19	Největší přípustná hmotnost přívěsové jízdní soupravy
M20	Největší konstrukční hmotnost návěsové jízdní soupravy
M21	Největší přípustná hmotnost návěsové jízdní soupravy

Číslování jednotlivých kol a náprav je zleva doprava, zepředu dozadu.

8.3 Statická část algoritmu

Úplný vývojový diagram této části návrhu je uveden v Příloze 2, která je rozdělena na dvě části. Část 1 se zabývá analýzou vozidla na rovině, část 2 pak vozidlem ve svahu.

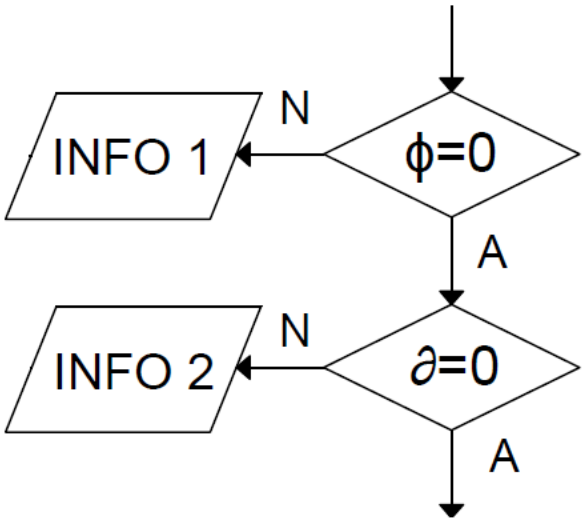
Tato část algoritmu je určena k získání maximálního množství informací o vozidle v klidu. Po uvedení systému do chodu je zkontrolována funkce času, zda-li není vyřazen z provozu. Také je ověřen fakt, jestli nebylo vozidlo uvedeno do pohybu. V takovém případě je chod algoritmu přesměrován na jeho dynamickou část.



Obrázek 18: Ověření, zda-li se vozidlo nachází v klidu

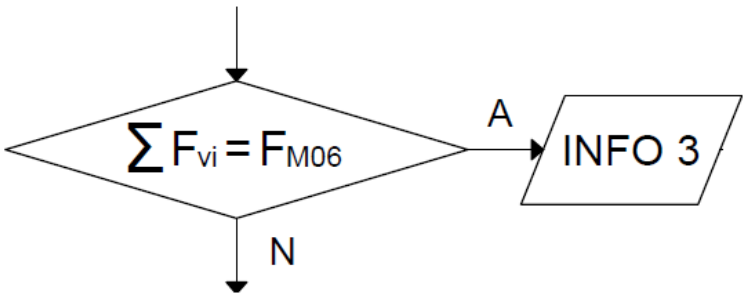
8.3.1 Statická část algoritmu, 1. část

Nejdříve je určena poloha vozidla vzhledem ke globálnímu souřadnému systému. K tomu je využito snímání úhlu podélného (úhel Φ) a příčného (úhel ∂) sklonu svahu. Vozidlo se může nacházet na rovině ($\Phi = 0, \partial = 0$), v podélném svahu ($\Phi \neq 0$, obsluze vozidla předána informace INFO 1), v příčném svahu ($\partial \neq 0$, INFO 2) či jejich kombinaci, příčněpodélném svahu ($\Phi \neq 0, \partial \neq 0$).



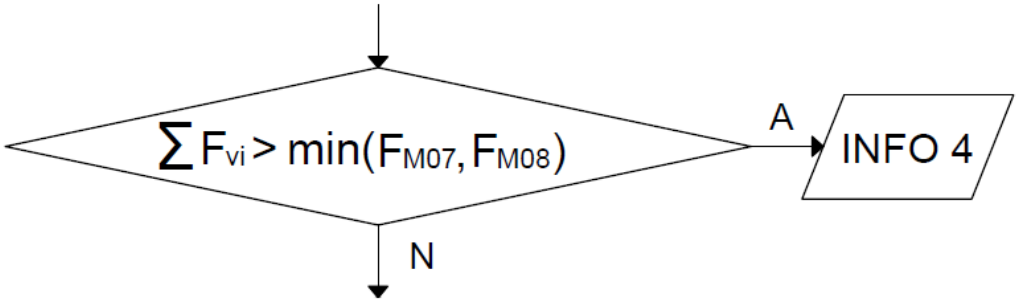
Obrázek 19: Určení polohy vozidla vzhledem ke globálnímu s. systému

V případě, že se vozidlo v klidu nachází na rovině, je vertikální síla působící skrze kola na podložku (F_{vi}, index i označuje číslo kola) porovnána se silou, která by byla přenášena v případě, že by se hmotnost vozidla rovnala jeho pohotovostní hmotnosti (M06). Jestliže se součet vertikálních sil rovná teoretické hodnotě, vložené do systému výrobcem vozidla, je situace vyhodnocena jako výskyt prázdného vozidla na rovině a obsluze vozidla je poskytnuta odpovídající informace (INFO 3). Poloha těžiště automobilu je v tomto případě známá (jedná se o vlastnost danou konstrukcí).



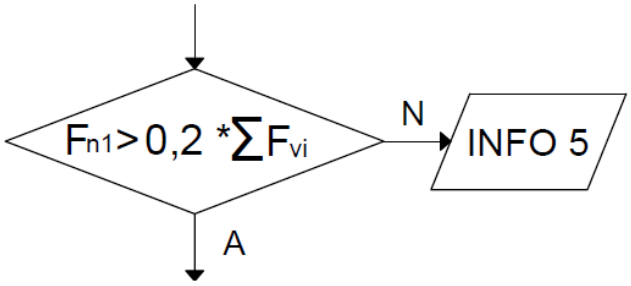
Obrázek 20: Ověření hmotnosti vozidla na rovině

Je-li vozidlo naloženo, v dalším kroku dojde k porovnání jeho zatížení s konstrukčními a legislativními požadavky na maximální zatížení. Konkrétně s hodnotami M07 (konstrukční celková hmotnost, nejvyšší celková hmotnost stanovená výrobcem) a M08 (přípustná celková hmotnost stanovená správními orgány jako nejvyšší pro určité provozní podmínky). V případě, že dojde k přetížení vozidla, dojde k informování obsluhy vozidla signálem INFO 4 (vozidlo je přetíženo).



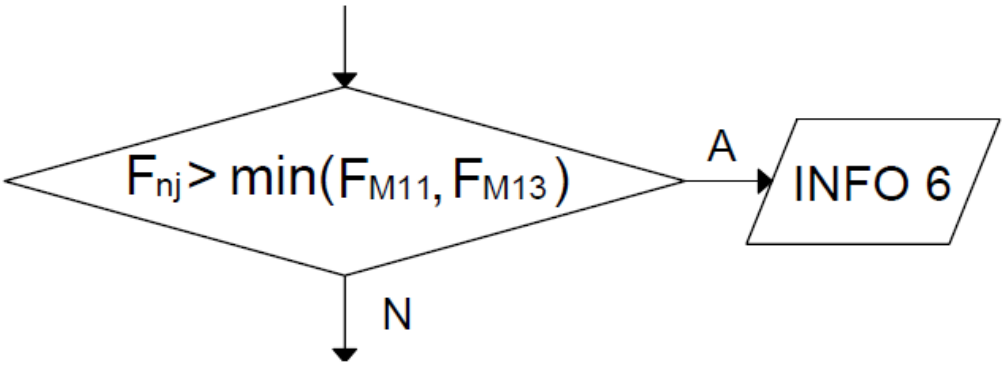
Obrázek 21: Kontrola případného přetížení vozidla

Následně systém ověřuje, není-li vlivem posunu těžiště odtížena řízená náprava. To by mělo výrazný negativní vliv na jízdní vlastnosti automobilu. V algoritmu je uvažována přední řízená náprava. Tento krok vychází z legislativního požadavku, který určuje minimální podíl hmotnosti, pod který nesmí klesnout zatížení řízené nápravy. Ta nesmí na vodorovné vozovce klesnout pod 20% okamžité hmotnosti. Síla F_{n1} označuje síly působící na první (přední, řízenou) nápravu. Dojde-li k poklesnutí pod mezní hodnotu, řidiči vozidla je poskytnuta informace INFO 5.



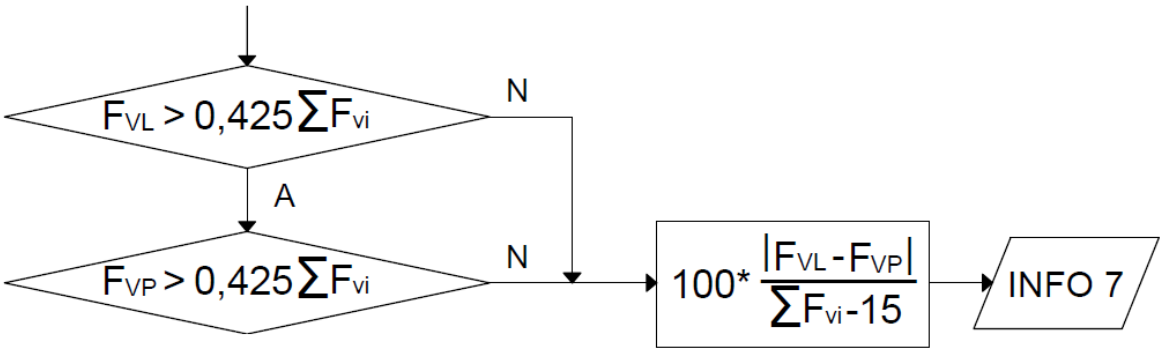
Obrázek 22: Ověření případného odlehčení řízené nápravy

V dalším kroku je vyšetřováno případné přetížení jedné z náprav vozidla. K tomu jsou využity síly působící na jednotlivé nápravy (značeno F_{nj}, index j označuje pořadí nápravy). Ty jsou porovnávány s teoretickými zatíženími způsobených hmotnostmi M11 (největší konstrukční hmotnost na nápravu) a M13 (největší přípustná hmotnost na nápravu). V případě přetížení jedné z náprav automobilu je jeho obsluha varována signálem INFO 6.



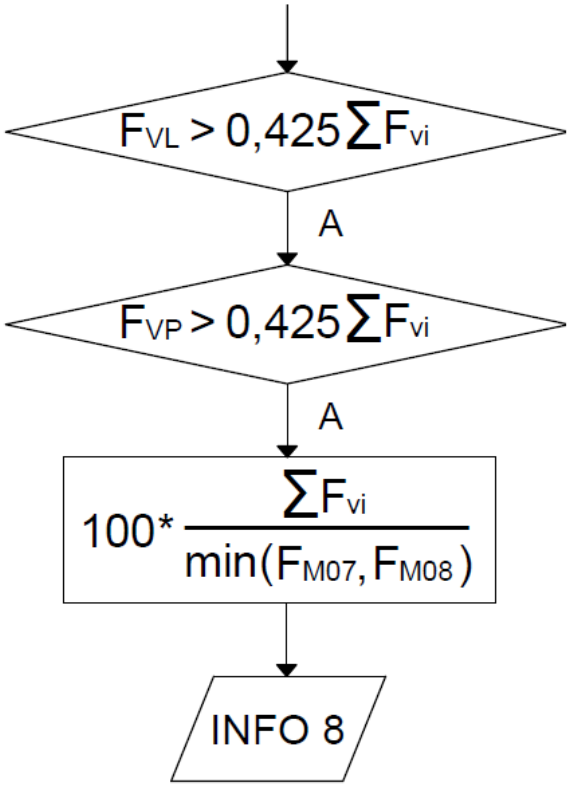
Obrázek 23: Vyšetřování přetížení jedné z náprav

Poslední krok 1. části statického algoritmu je vyšetřování případného přetížení jedné ze stran vozidla. Zatížení kol pravé strany je značeno F_{vp}, strany levé pak F_{vl}. Obecně platí, že $F_{vl} = \sum_{i=1,3,\dots} F_{vi}$ a $F_{vp} = \sum_{i=2,4,\dots} F_{vi}$. Nerovnoměrnost rozložení hmotnosti na kola náprav je dána legislativně jako maximálně 15% okamžité hmotnosti. V případě, že je zjištěno přetížení levé či pravé strany automobilu, dojde výpočtu procentuální hodnoty tohoto přetížení pomocí vztahu $\%p\check{r} = 100 \cdot \frac{|F_{vl} - F_{vp}|}{\sum F_{vi} - 15}$ a upozornění obsluhy vozidla informací INFO7: levá/pravá strana přetížena o X%.



Obrázek 24: Přetížení jedné ze stran vozidla

Jestliže levá ani pravá strana není přetížena, z hlediska jízdní stability je vše v pořádku a je dopočítáno procentuální zatížení vozidla. K tomu je užita hmotnost M07 (konstrukční celková hmotnost, nejvyšší celková hmotnost stanovená výrobcem) a M08 (přípustná celková hmotnost stanovená správními orgány jako nejvyšší pro určité provozní podmínky) a je vypočtena použitím vztahu $\%za = 100 \cdot \frac{\sum F_{vi}}{\min(F_{M07}, F_{M08})}$. O výsledném procentu zatížení vozidla je řidič vozidla informován díky signálu INFO 8.

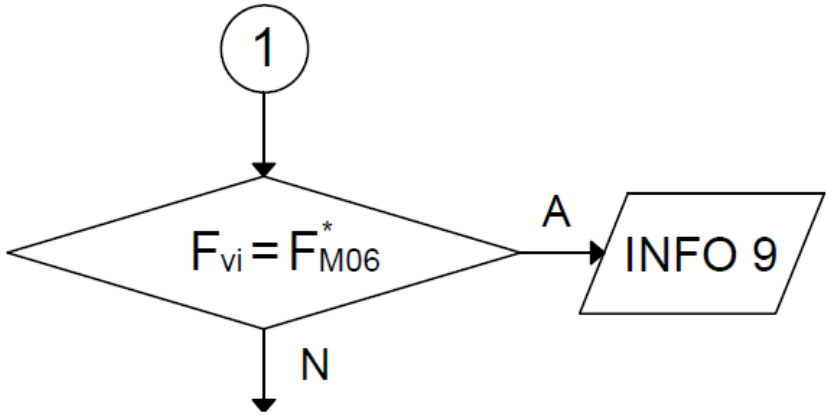


Obrázek 25: Určení procentuálního zatížení vozidla

8.3.2 Statická část algoritmu, 2. část

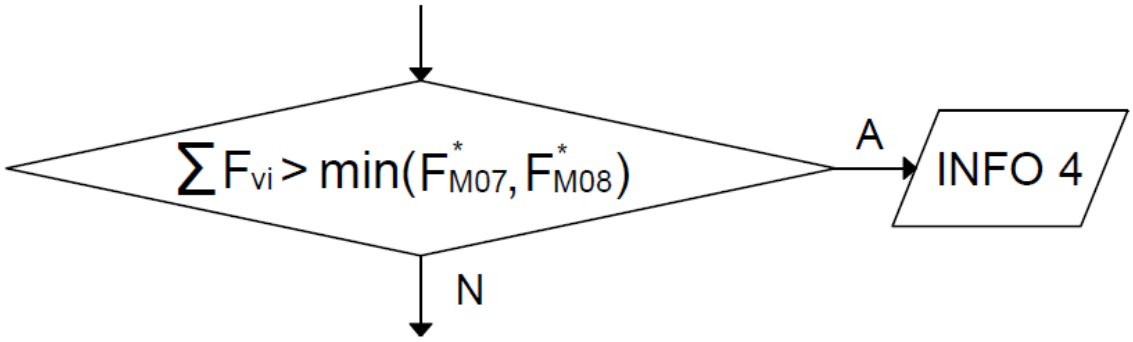
Tato část se týká analýzy vozidla stojícího ve svahu. V tomto případě nelze užívat hmotnosti dle ISO 1176:1990 jako v 1. části, ale je nutné je přepočítávat: $F^*_{M06} = M06 \cdot g_{p\check{r}}$, kde $g_{p\check{r}} = g \cdot \sqrt{(1 - \sin \Phi^2 - \sin \partial^2}$. [1] Takto přepočtené hodnoty jsou ve vývojovém diagramu značeny s hvězdičkou.

V prvním kroku této části je síla vzniklá hmotností vozidla porovnána s přepočtenou hmotností M06. V případě jejich rovností je situace vyhodnocena jako prázdné vozidlo stojící ve svahu (INFO 9) a dochází k informování řidiče.



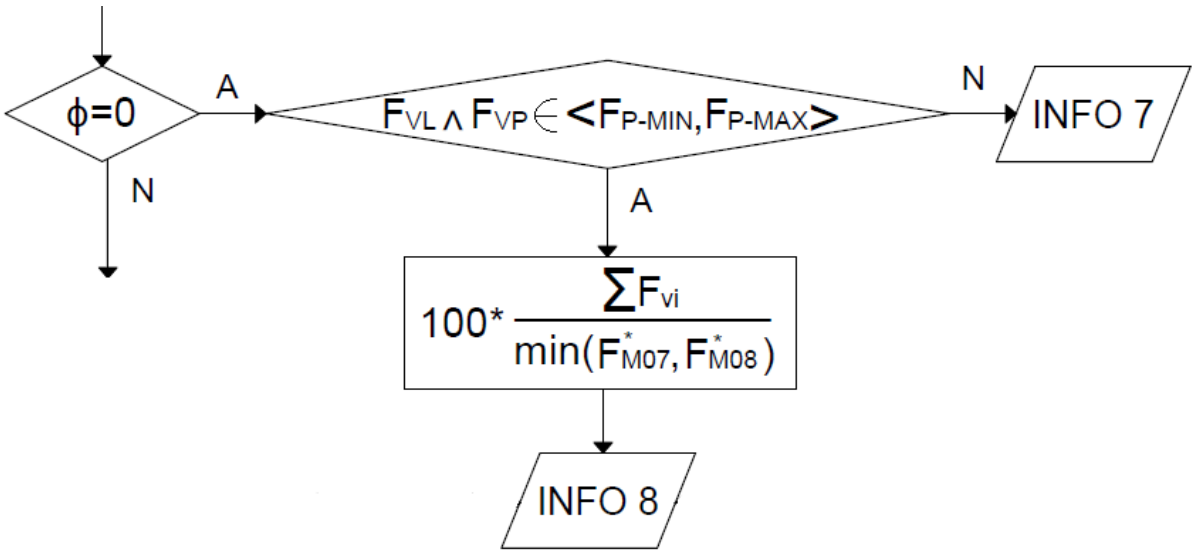
Obrázek 26: Ověřování prázdného vozidla ve svahu

Dalším krokem je ověřování, jestli není vozidlo ve svahu přetíženo. To je zjištěno porovnáním okamžité hmotnosti vozidla s přepočtenými hmotnosti M07 (konstrukční celková hmotnost, nejvyšší celková hmotnost stanovená výrobcem) a M08 (přípustná celková hmotnost stanovená správními orgány jako nejvyšší pro určité provozní podmínky). Dojde-li k překročení nižší z nich, vozidlo je přetíženo a informace INFO 4 se zobrazí na displeji.



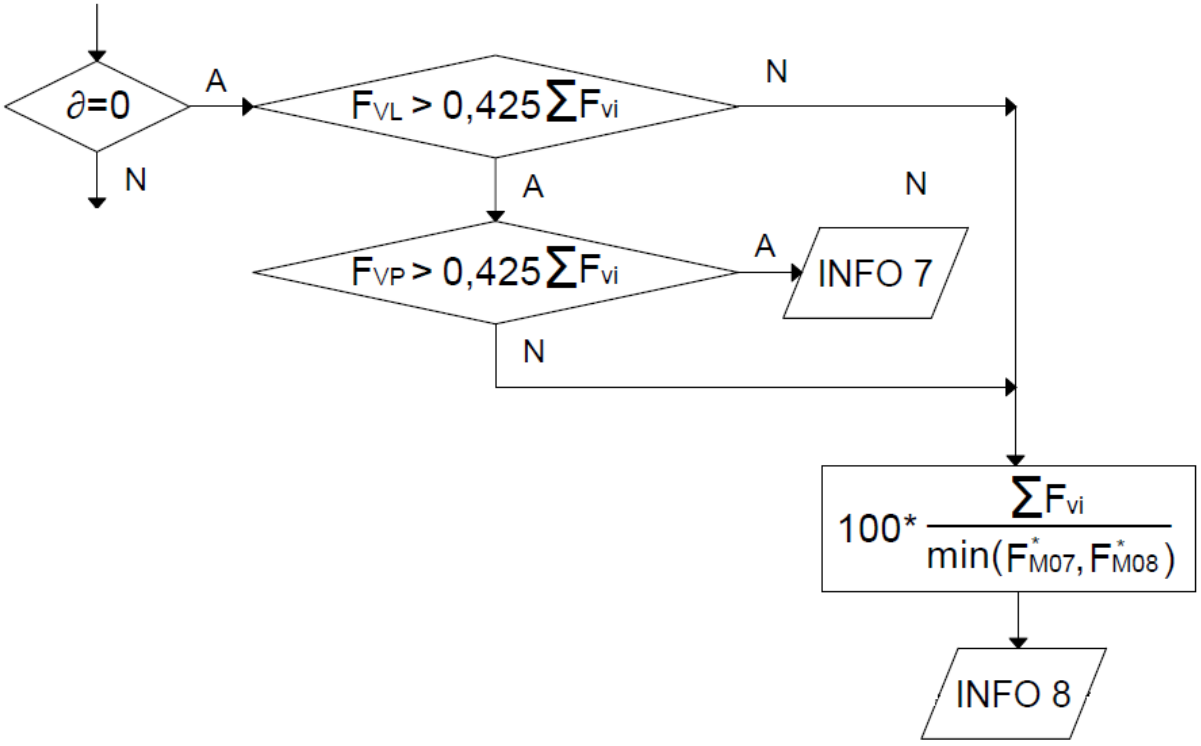
Obrázek 27: Vyšetřování případného přetížení vozidla ve svahu

V dalším kroku dojde k rozlišení, jestli se jedná o příčný nebo podélný sklon. Stojí-li vozidlo na příčném sklonu, dojde k porovnání sil na levé a pravé straně vozidla s intervalem ohraničeným hodnotami, které jsou do systému vozidla vloženy jeho výrobcem. Leží-li jedna z těchto sil mimo stanovený interval, jedny ze stran je přetížena a řidič je o této skutečnosti informován (INFO 7). V případě, že je vše v pořádku, je vypočítáno procentuální zatížení vozidla a tato informace je zobrazena na displeji (INFO 8).



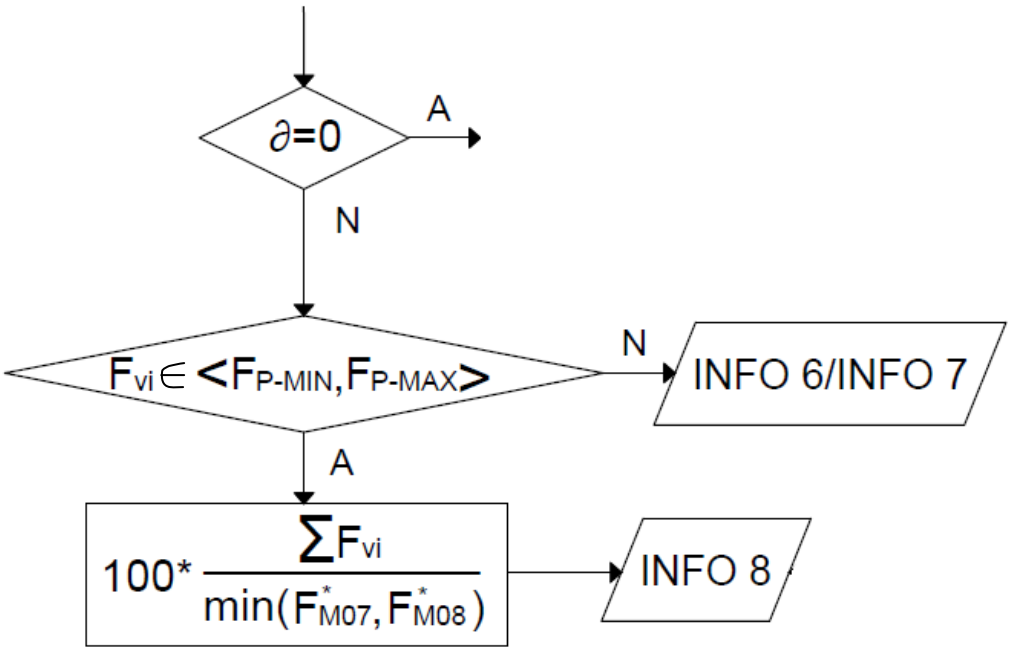
Obrázek 28: Přetížení levé či pravé strany vozidla ve svahu

Stojí-li vozidlo na podélném sklonu, přetížení jedné ze stran se určí podobně jako v části 1. I zde je nutné vyhovět podmínce, že nerovnoměrnost zatížení může být maximálně 15% okamžité hmotnosti. Dle dispozic je tedy rozhodnuto o případné přetížení jedné ze stran vozidla (INFO 7) či je situace vyhodnocena jako bezproblémová a je vypočítáno procentuální zatížení vozidla, o kterém je jeho obsluha informována (INFO 8).



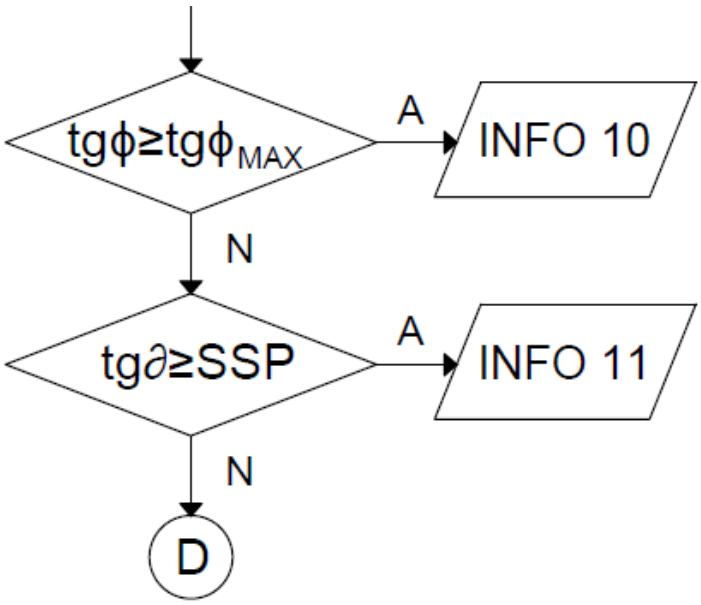
Obrázek 29: přetížení jedné ze stran vozidla v podélném svahu

Obdobná je i situace, kdy se vozidlo nachází v příčněpodélném svahu. V tomto případě se přetížení levé či pravé strany vozidla a přetížení jedné z náprav určí za pomoci intervalu, který je ohraničen údaji experimentálně zjištěnými a do systému vloženými výrobcem automobilu. Na jejich základě dojde i signalizaci INFO 6 (přetížena n-tá náprava), INFO 7 (levá/pravá strana přetížena o X%). Nedochází-li k situacím, které by měly negativní vliv na stabilitu vozidla, je vypočtena hodnota procentuálního zatížení a je o něminformována obsluha vozidla (INFO 8 - vozidlo zatíženo z X%).



Obrázek 30: Vozidlo na příčněpodélném svahu

Na závěr této části statického algoritmu je rozpoznáno případné nebezpečí příčného (INFO 11) nebo podélného (INFO 10) překlopení. K tomu jsou opět využity mezní hodnoty experimentálně zjištěné výrobcem vozidla. Pro podélné překlopení je využita hodnota maximálního naklopení vozidla v podélné ose, pro překlopení příčné je pak tangens úhlu porovnáván s tzv. statickým prahem převrácení (SSP). V případě vyhovění všem podmínkám stability pokračuje algoritmus do své dynamické části.

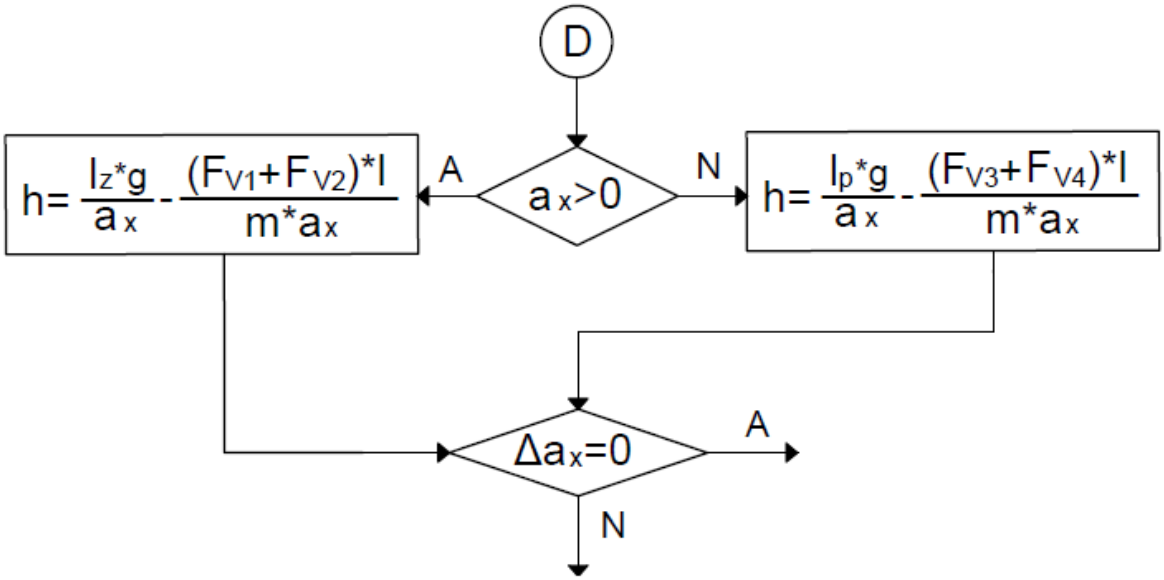


Obrázek 31: Příčné a podélné převrácení vozidla ve svahu

8.4 Dynamická část algoritmu

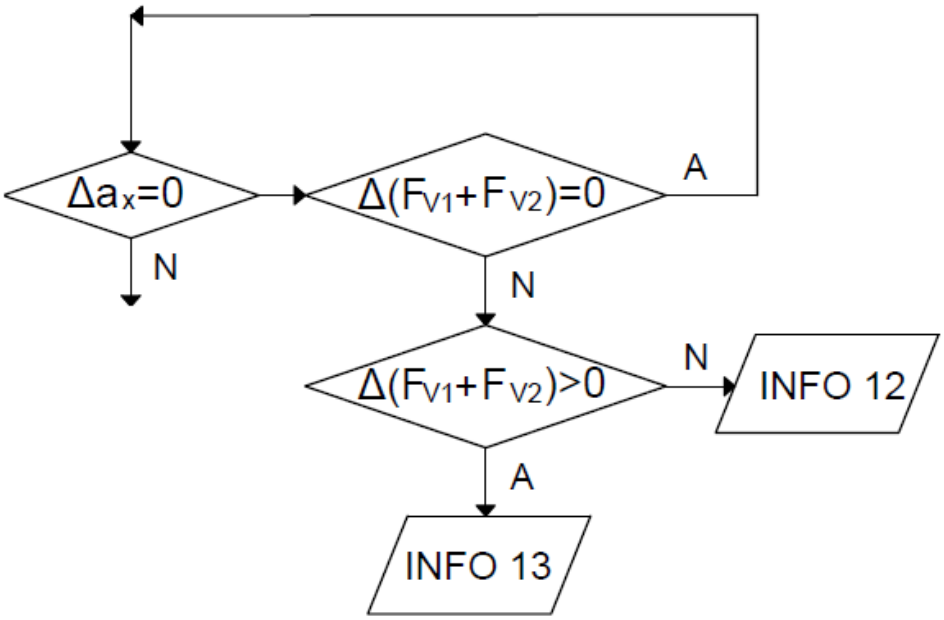
Dynamická část algoritmu se spustí v okamžiku uvedení vozidla do pohybu. Je zaměřena na detekci pohybu nákladu, čímž dochází k ovlivnění těžiště soustavy a tím i jízdních vlastností vozidla.

V prvním kroku je zjištěno, jedná-li se o pohyb zrychlený nebo zpomalený. Následně je vypočtena výška těžiště dle vztahů $h = \frac{l_z \cdot g}{a_x} - \frac{(F_{v1}+F_{v2})\cdot l}{m \cdot a_x}$ pro pohyb zrychlený či $h = \frac{l_p \cdot g}{a_x} - \frac{(F_{v3}+F_{v4})\cdot l}{m \cdot a_x}$ pro pohyb zpomalený. Dalším krokem je zjištění, jestli se nejedná o pohyb rovnoměrný (v takovém případě je zrychlení soustavy vozidla nulové).



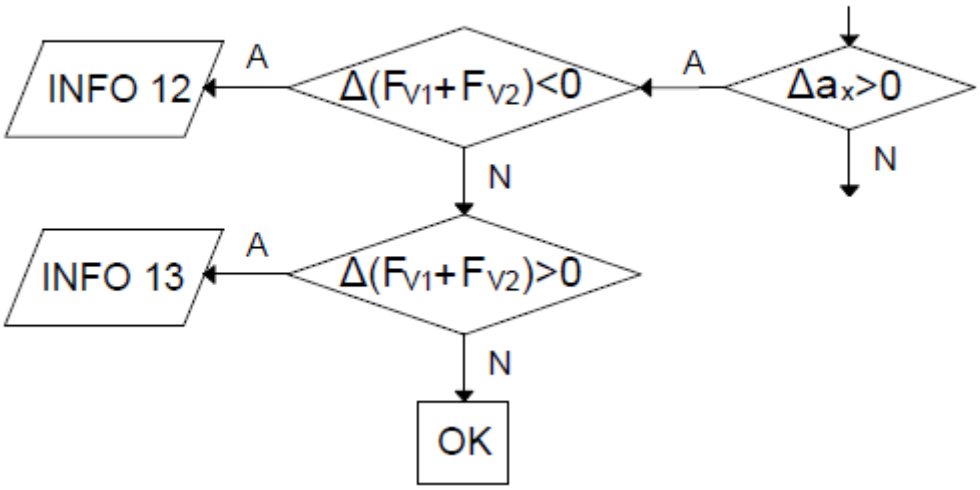
Obrázek 32: Určení zrychlení soustavy y výpočet výšky těžiště

Další krok se zabývá případem, kdy se vozidlo pohybuje rovnoměrným pohybem. V tomto případě je využita změna (kladný či záporný přírůstek) součtu sil na jednotlivých kolech přední nápravy. Jestliže je tento přírůstek nulový, nedochází k nákladu pohybu. K tomu dochází v případě, že je přírůstek nenulový. Nabývá-li kladných hodnot, dochází k pohybu nákladu vpřed (INFO 13), čímž dochází k zvýšenému zatížení přední nápravy. V opačném případě dochází k pohybu nákladu směrem vzad (INFO 12).



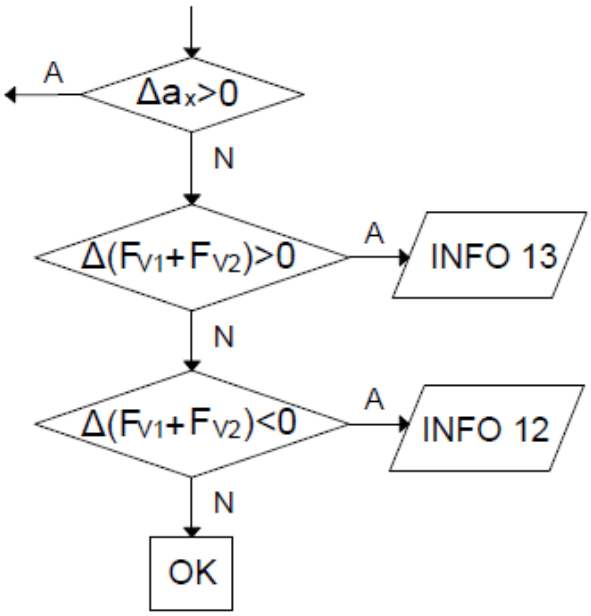
Obrázek 33: Pohyb nákladu pro rovnoměrně se pohybující vozidlo

Podobně je vyhodnocena situace, kdy vozidlo zrychluje. Je-li v takovém případě změna zatížení přední nápravy nižší, muselo dojít k posunu nákladu. V takovém případě je řidič upozorněn na posun nákladu vzad (INFO 12). Při zachování konstantní hodnoty zatížení je situace vyhodnocena jako bezpečná.



Obrázek 34: Možný pohyb nákladu při zrychlování vozidla

Obdobná situace je i pro vozidlo zpomalující. Je-li přírůstek zatížení přední nápravy kladný, muselo dojít k posunu nákladu, řidiči je předán signál INFO 13. V případě záporného přírůstku je vyslána informace INFO 12. Při zachování konstantní hodnoty zatížení je situace vyhodnocena jako bezpečná.



Obrázek 35: Možný pohyb nákladu při zpomalování vozidla

9 Závěr

Ačkoliv si to mnohdy ani sami neuvědomují, mají řidiči vozidel velkou zodpovědnost. Navrhovaný systém cílí zejména na použití v užitkových a nákladních automobilech. V případě vzniku dopravní nehody mohou být následky a vzniklé škody o mnoho rozsáhlejší, než při nehodě automobilu osobního. Veřejností je bezpečnost na silničních komunikacích velmi sledovaná a z tohoto důvodu je každý systém zvyšující bezpečnost provozu těchto vozidel vítán.

Nevýhodou tohoto systému je zejména značná individualita každého automobilu. Před uvedením systému do provozu je nutné, aby obsluha vozidla nebo jeho výrobce zadal do databáze mnoho údajů. Jedná se např. o hmotnostní charakteristiky, rozměry vozidla, údaje o odpružení a tlumení či momenty setrvačnosti vozidla a nákladu. To znemožňuje snadnou instalaci do jakéhokoli vozu a zvyšuje požadavky na zaměstnance.

V budoucnu by bylo možné rozšířit tento systém o regulační složku. Ta by se mohla dělit na dva případy:

- První byl již rozveden v úvodu kapitoly 8. Jedná se o systémy aktivně zasahující do jízdy automobilu, jako jsou např. aktivní brzdění, aktivní stabilizátory a aktivní odpružení. Jejich funkcí je v maximální možné míře zvyšovat stabilitu vozidla v průběhu jízdy.
- V případě, že je detekována situace výrazně snižující stabilitu či zatížení vozidla v rozporu s platnou legislativou (např. INFO 4 - vozidlo je přetíženo či INFO 6 – přetížena n-tá náprava), dojde k automatickému zásahu znemožňujícím jízdu. Ta bude povolena až po napravení zjištěných nedostatků.

Dále by bylo možné přidat i prognostickou funkci. S tou by musela být do systému přidána i rozsáhlá databáze dopravní infrastruktury. Ta by obsahovala informace o příčných a podélných sklonech vozovky, délkách přímých úseků, poloměrech směrových oblouků apod. Tyto informace by v budoucnu bylo možné zjišťovat i prostřednictvím GNSS systémů (Global Navigation Satellite Systém - globální družicový polohový systém). Na základě zjištěných údajů by měl být systém schopný doporučit rychlost průjezdu daným úsekem, aby nedošlo k překročení kritické meze stability vozidla, či přijmout regulační opatření a rychlost snížit automaticky.

10 Použité zdroje

[1] VLK, František. Dynamika motorových vozidel. Vyd. 2. Brno: František Vlk, 2003. 432 s. ISBN 80-239-0024-2

[2] FIRST, Jiří a kol. Zkoušení automobilů a motocyklů – příručka pro konstruktéry. Vyd. 1. Praha: S&T CZ, 2008. 348 s. ISBN 978-80-254-1805-5

[3] Ředitelství služby dopravní policie Policejního prezidia České republiky, Přehled o nehodovosti na pozemních komunikacích v České republice v letech 2007-2015

[4] ISO 4130, Three-dimensional reference system and fiducial marks, Ženeva, 1978

[5] International Road Transport Union, European Truck Accident Causation, Ženeva, 2007

[6] Federal Motor Carrier Safety Administration, Large Truck and Bus Crash Facts 2014, U.S. Department of Transportation, 2016

[7] VLK, František. Zkoušení a diagnostika motorových vozidel: výkon vozidla, brzdné vlastnosti, převodová ústrojí, řízení, geometrie kol, tlumiče a pružiny, řiditelnost a ovladatelnost, životnostní zkoušky, motor, zapalování, elektronické systémy. 1. vyd. Brno: Vlk, 2001. viii, 576 s. ISBN 80-238-6573-0.

[8] HUSÁK, Miroslav. Přednášky z předmětu Senzorové systémy. Praha. Dostupné z: http://www.micro.feld.cvut.cz/home/x34ses/prednasky/08%20Akcelerometry.pdf

[9] ALPHA INTERNATIONAL S.R.O. Snímače úhlu a náklonu. Dostupné z: http://www.alphaint.cz/snimace-uhlu-a-naklonu/

[10] ISO 1176, Road vehicles, masses, vocabulary and codes, Ženeva, 1990

[11] Vyhláška MD ČR 131/2002 Sb., Schvalování technické způsobilosti a o technických podmínkách provozu vozidel na pozemních komunikacích, ve znění pozdějších předpisů, Praha, 2002

[12] KVÁŠOVÁ, Alžběta. Detekce podmínek stability vozidla. Praha, 2009. Diplomová práce. ČVUT v Praze. Ústav dopravní techniky.

[13] EHK 111, Stabilita proti překlopení cisternových vozidel, Ženeva, 2000

[14] JÍRŮ, Pavel. Vliv polohy a mobility těžiště na stabilitu vozidla. Praha, 2008. Studie k disertační práci. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta dopravní, Katedra dopravní techniky.

[15] FIRST, Jiří. Způsob kontroly stability vozidla, zejména užitkového, a systém k provádění tohoto způsobu. Praha, 2009. Přihláška vynálezu 2009-332. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta dopravní, Katedra dopravní techniky.

11 Seznam obrázků

Obrázek 1: Počet nehod v letech 1990-2015 [3] 11
Obrázek 2: Počet úmrtí zapříčiněných dopravními nehodami v letech 1990-2015 [3] 12
Obrázek 3: Počet lehkých a těžkých zranění zapříčiněných d. nehodami v letech 1990-2015 [3] 12
Obrázek 4: Procentuální zastoupení nehod nákladních vozidel a úmrtí v závislosti na hmotnosti (2015) [3] 13
Obrázek 5: Vývoj počtu nehod způsobených uložením nákladu [3] 14
Obrázek 6: Hlavní důvody vzniku nehody nákladního vozidla dle ETAC [5] 15
Obrázek 7: Trojrozměrná referenční soustava [4] 21
Obrázek 8: Prostorový model vozidla [1] 22
Obrázek 9: Amplitudová frekvenční charakteristika zrychlení nástavby 24
Obrázek 10: Blokové schéma řízení automobilu [1] 26
Obrázek 11: Hlavní příčiny vzniku nehod n. vozidel dle ETAC [5] 27
Obrázek 12: Středy klopení kol a střed klopení karoserie [1] 30
Obrázek 13: Blokové schéma měření neelektrických veličin [7] 32
Obrázek 14: Schéma piezoelektrického akcelerometru [8] 33
Obrázek 15: Schéma piezoodporového akcelerometru [8] 33
Obrázek 16: Schéma kapacitního akcelerometru [8] 34
Obrázek 17: Umístění měřících přístrojů 36
Obrázek 18: Ověření, zda-li se vozidlo nachází v klidu 39
Obrázek 19: Určení polohy vozidla vzhledem ke globálnímu s. systému 40
Obrázek 20: Ověření hmotnosti vozidla na rovině 41
Obrázek 21: Kontrola případného přetížení vozidla 41
Obrázek 22: Ověření případného odlehčení řízené nápravy 42
Obrázek 23: Vyšetřování přetížení jedné z náprav 42
Obrázek 24: Přetížení jedné ze stran vozidla 43
Obrázek 25: Určení procentuálního zatížení vozidla 43
Obrázek 26: Ověřování prázdného vozidla ve svahu 44
Obrázek 27: Vyšetřování případného přetížení vozidla ve svahu 44
Obrázek 28: Přetížení levé či pravé strany vozidla ve svahu 45
Obrázek 29: přetížení jedné ze stran vozidla v podélném svahu 46
Obrázek 30: Vozidlo na příčněpodélném svahu 47
Obrázek 31: Příčné a podélné převrácení vozidla ve svahu 47
Obrázek 32: Určení zrychlení soustavy y výpočet výšky těžiště 48

Obrázek 33: Pohyb nákladu pro rovnoměrně se pohybující vozidlo 49
Obrázek 34: Možný pohyb nákladu při zrychlování vozidla 49
Obrázek 35: Možný pohyb nákladu při zpomalování vozidla 50

12 Seznam tabulek

Tabulka 1: Stručná statistika nehod v ČR v letech 1990-2015 [3] 11
Tabulka 2: Hlavní důvody vzniku tragických nehod n. automobilů v USA (2014) [6]..... 16
Tabulka 3: Nejvyšší povolené hmotnosti na nápravu [11] 18
Tabulka 4: Nejvyšší povolená hmotnost vozidel [11]..... 18
Tabulka 5: Přehled měřených veličin 32
Tabulka 6: Přehled poskytovaných informací..... 38
Tabulka 7: Značení hmotností vozidla dle ISO 1176:1990 [10] 39

13 Seznam příloh

Příloha 1 Legenda k vývojovému diagramu

Příloha 2 Vývojový diagram - statický algoritmus, 1. část

Příloha 3 Vývojový diagram - statický algoritmus, 2. část

Příloha 4 Vývojový diagram - dynamický algoritmus